

تقنيات وأعمال الخرسانة

التجارب العملية

الوحدة السادسة : التجارب العملية

الجدارة:

يتعرف المتدرب بالتفصيل على الطرق المختلفة لاختبار جودة الخرسانة الطرية و المتصلبة بالإضافة إلى تصميم الخلطات الخرسانية وكذلك الطرق الإحصائية لدراسة النتائج على الاختبارات.

الأهداف:

عند دراسة هذا الوحدة يتعرف المتدرب على:

- تحديد كميات المواد المكونة للخرسانة
- عمل الاختبارات اللازمة لضبط جودة الخرسانة الطرية.
- عمل الاختبارات اللازمة لضبط جودة الخرسانة المتصلدة.
- دراسة نتائج الاختبارات للتحكم في الجودة والحكم على صلاحية الخرسانة.

مستوى الأداء المطلوب: أن يلم المتدرب الإلمام التام بالجدارة المبينة أعلاه.

الوقت المتوقع لإنجاز الهدف: خمسة عشرة أسبوعا على الأقل.

متطلبات الجدارة: اجتياز مادة خواص و اختبارات المواد.

تصميم الخلطات الخرسانية

٦- ١ مقدمة:

نعني بتصميم الخلطات الخرسانية تعيين الكميات للمواد من إسمنت و رمل و ركام كبير و ماء و إضافات. وتوجد عدة عوامل تؤثر على التصميم كشكل الركام و حجمه و تدرجه و طبيعة العمل و التشغيل و طريقة الدمك و توفر المواد و درجات الحرارة و غيرها. و هناك عدة طرق لتصميم الخلطات فهي إما أن تكون تجريبية تقريبية و إما أن تكون نظرية ذات تفاصيل كثيرة.

- الطريقة الوضعية
- طريقة المحاولة
- طريقة الحجم المطلق
- طريقة معهد الخرسانة الأمريكي
- استعمال برنامج بالحاسب الآلي

٦،١،١ الطريقة الوضعية:

تعتمد هذه الطريقة على تحديد نسب مكونات الخرسانة استنادا لخلطات سابقة تم عملها و أعطت نتائج مقبولة أي اختيار نسب معينة من الإسمنت والرمل والركام كأن نقول (١:٢:٤) أي واحد إسمنت واثنان رمل وأربعة ركام كبير وفي الأخير يتم عمل خلطات خرسانية صغيرة وإجراء بعض التعديل حتى الوصول إلى الخلطة المناسبة.

٦،١،٢ طريقة المحاولة:

تتلخص هذه الطريقة في أربع خطوات:

- تحديد كمية الرمل: نضع كمية من الركام الخشن في وعاء ونضيف إليه ماء حتى تمتلئ كل الفراغات بالماء فتكون كمية الماء مساوية لحجم الرمل اللازم للخلطة. ويراعى أن يكون الركام مشبع بالماء ذو سطح جاف.

- تحديد حجم الإسمنت: نضع هذا الرمل في وعاء ونغمره بالماء حتى تمتلئ الفراغات كلها بالماء فيكون هذا هو حجم الإسمنت اللازم للماء فراغات الرمل.

- تحديد كمية الماء: فإذا أخذنا كمية من الإسمنت C وبعد تحديد نسبة الماء إلى الإسمنت التي تحقق قوة معينة مطلوبة من الجدول التالي، فإنه يمكن تحديد كمية الماء اللازمة W .

مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوما (MPa)	نسبة الماء إلى الإسمنت
٤٥	٠,٣٧
٤٠	٠,٤٢
٣٥	٠,٤٧
٣٠	٠,٥٤
٢٥	٠,٦١
٢٠	٠,٦٩
١٥	٠,٨٠

مثال:

تصميم الخلطة الخرسانية بطريقة المحاولة وتكون المقاومة اللازمة للخرسانة بعد ٢٨ يوم تساوي

٣٥ MPa.

إذا استخدمت كمية ركام كبيرة تزن ١٠ كجم وكمية رمل قدرها ٦,٦٧ كجم أي بنسبة مئوية للرمل قدرها ٤٠٪ من الركام الشامل.

من الجدول السابق تكون نسبة الماء إلى الإسمنت اللازمة هي ٠,٤٧. فإذا كانت كمية الإسمنت تساوي ٣,٢٠ كجم فيلزم لها كمية ماء ١,٥٠٤ لتر.

وتكون محتويات الخلطة كالتالي: (ونفترض أن الخلطة تحتوي على ٧ أكياس إسمنت أي ٣٥٠ كجم لكل م^٢ من الخرسانة).

كمية (كجم)	كمية ل٧ اكياس إسمنت	
الماء	١.٥٠٤	١٦٤.٥
الإسمنت	٣.٢٠	٣٥٠
الرمل	٦.٦٧	٧٢٩.٥
الركام الكبير	١٠	١٠٩٣.٧
المجموع	٢١.٣٧	٢٣٣٧

٣,١,٦ طريقة الحجم المطلق:

نفترض أن حجم الخرسانة الطرية هي مجموع أحجام مكوناتها المطلقة (الماء + الإسمنت + الرمل + الركام الكبير).

$$\frac{W}{\rho_w} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{A_1}{\rho_1} + \frac{A_2}{\rho_2} = 1$$

حيث إن:

C: كمية الإسمنت بالوزن

A₁: كمية الرمل بالوزن

A₂: كمية الركام الكبير بالوزن

W: كمية الماء

ρ: الوزن النوعي للماء والإسمنت والركام.

يمكن حساب مكونات الخرسانة (W, C, A₁, A₂) بعد تحديد القيم التالية (A₁/A₂, C/(A₁+A₂), (W/C).

مثال:

تصميم خلطة خرسانية للحصول على مقاومة ضغط قدرها ٢٥ MPa. بعد ٢٨ يوما.

الحل:

بعد تحديد القيم التالية:

$$W/C = ٠,٦١$$

$$C/(A_1+A_2) = ٠,١٥$$

$$A_1/(A_1+A_2) = ٠,٣٥$$

تكون نسب مكونات الخلطة الخرسانية إلى الإسمنت.

الماء	الإسمنت	ركام كبير	رمل
٠,٦١	١	$\frac{0.65}{0.15} = 4.33$	$\frac{0.35}{0.15} = 2.33$

و إذا كان الوزن النوعي للركام الكبير $\rho_1 = ٢,٥$ وللرمل $\rho_r = ٢,٦$ وللإسمنت $\rho_c = ٣,١٥$ فيكون محتوى الإسمنت:

$$\frac{W}{\rho_w} + \frac{C}{\rho_c} + \frac{A_1}{\rho_1} + \frac{A_2}{\rho_2} = 1$$

$$\frac{0.61C}{1} + \frac{C}{3.15} + \frac{2.33C}{2.60} + \frac{4.33C}{2.50} = 1$$

فيكون محتوى الإسمنت يساوي $C = ٠,٢٨١ \text{ طن/م}^3 = ٢٨١ \text{ كجم/م}^3$.

وتكون مكونات الخلطة لواحد متر مكعب من الخرسانة كالتالي:

كمية (كجم/متر مكعب)		
١٧١	$= ٢٨١ \times ٠,٦١$	الماء
٢٨١		الإسمنت
٦٥٥	$= ٢٨١ \times ٢,٣٣$	الرمل
١٢١٧	$= ٢٨١ \times ٤,٣٣$	الركام الكبير
٢٣٢٤ كجم/متر مكعب		المجموع

٤,١,٦ طريقة معهد الخرسانة الأمريكي:

و تجري عملية حساب نسب الخلطة الخرسانية على الترتيب التالي:

١. اختبار هبوط الخرسانة: slump

تحدد هبوط الخرسانة للأعمال المختلفة التالية:

جدول رقم ١,٦: الهبوط المناسب للأعمال المختلفة.

الهبوط (مم)	درجة قابلية التشغيل	نوع المنشآت الخرسانية
٢٥ – ٥	منخفضة جدا	خرسانة الطرق المدمك بالهزازات الآلية
٥٠ – ٢٥	منخفضة	خرسانة الطرق المدمك يدويا
١٠٠ – ٥٠	متوسطة	الأسقف والبلاطات
١٧٥ – ١٠٠	عالية	الخرسانة ذات التسليح المكثف

٢. المقاس الاعتباري الأكبر للركام: Max aggregate size

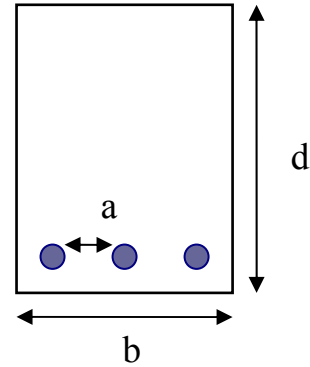
يكون المقاس الاعتباري الأكبر للركام أقل من:

$$\frac{b}{5}$$

$$\frac{3a}{5}$$

$$\frac{d}{3}$$

في حالة البلاطات



٣. تحديد كمية الماء اللازمة: water content

تحدد كمية الماء اللازم بعد تحديد المقاس الاعتباري الأكبر والهبوط اللازم من جدول رقم (٦ - ٢).

جدول رقم ٢,٦ : كمية ماء الخلط.

كمية ماء الخلط (كلغ/م³)								القوام بطريقة الهبوط
المناسير للمقاس الاعتباري الأكبر للركام								
١٥٠ مم	٧٠ مم	٥٠ مم	٤٠ مم	٢٥ مم	٢٠ مم	١٢.٥ مم	١٠ مم	
١٢٥	١٤٥	١٥٥	١٦٠	١٨٠	١٨٥	٢٠٠	٢٠٥	٣٠-٥٠ مم ٨٠-١٠٠ مم ١٥٠-١٨٠ مم
١٤٠	١٦٠	١٧٠	١٧٥	١٩٥	٢٠٠	٢١٥	٢٢٥	
	١٧٠	١٨٠	١٨٥	٢٠٥	٢١٠	٢٣٠	٢٤٠	
٠.٢	٠.٣	٠.٥	١	١.٥	٢	٢.٥	٣	الهواء المحبوس (%)

٤. تحديد نسبة الماء إلى الإسمنت: water/cement ratio

يتم تعيين نسبة الماء إلى الإسمنت من الجدول رقم (٦ - ٣) للحصول على القوة المطلوبة (معدل مقاومة الخرسانة للضغط للمكعبات بعد ٢٨ يوما).

جدول رقم ٣,٦: العلاقة بين نسبة الماء إلى الإسمنت و معدل مقاومة الخرسانة للضغط طبقا للمواصفات الأمريكية.

نسبة الماء إلى الإسمنت	مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوما (MPa)
٠.٣٧	٤٥
٠.٤٢	٤٠
٠.٤٧	٣٥
٠.٥٤	٣٠
٠.٦١	٢٥
٠.٦٩	٢٠
٠.٨٠	١٥

٥. تقدير كمية الركام الكبير: coarse aggregate content

بمعرفة كل من معايير النعومة للرمل و المقاس الاعتباري الأكبر للركام يمكن معرفة حجم الركام اللازم لوحدة الحجم من الخلطة الخرسانية و ذلك من الجدول رقم (٦ - ٤).

جدول رقم ٤,٦ : حجم الركام الكبير لكل وحدة حجوم من الخرسانة.

حجم الركام الكبير لكل وحدة حجوم من الخرسانة لمختلف معايير النعومة للرمل.				المقاس الاعتباري الأكبر للكام (مم)
٣.٠٠	٢.٨٠	٢.٦٠	٢.٤٠	
٠.٤٤	٠.٤٦	٠.٤٨	٠.٥٠	١٠
٠.٥٣	٠.٥٥	٠.٥٧	٠.٥٩	١٢.٥
٠.٦٠	٠.٦٢	٠.٦٤	٠.٦٦	٢٠
٠.٦٥	٠.٦٧	٠.٦٩	٠.٧١	٢٥
٠.٧٠	٠.٧٢	٠.٧٤	٠.٧٦	٤٠
٠.٧٢	٠.٧٤	٠.٧٦	٠.٧٨	٥٠
٠.٧٦	٠.٧٨	٠.٨٠	٠.٨٢	٧٥
٠.٨١	٠.٨٣	٠.٨٥	٠.٨٧	١٥٠

و بعد ذلك نحسب وزن الركام الكبير باستعمال المعادلة التالية:

وزن الركام الكبير = حجم الركام الكبير * الوزن الحجمي للركام الكبير.

٦. وزن الركام الصغير (الرمل): **fine aggregate content**

لتحديد وزن الرمل اللازم يجب طرح الأوزان (الإسمنت + الماء + الركام الكبير) من وزن المتر المكعب للخرسانة الطرية.

ويمكن استعمال جدول رقم (٦ - ٥) لإيجاد وزن متر مكعب للخرسانة الطرية.

جدول رقم ٥,٦: وزن الخرسانة الطرية.

المقاس الاعتباري الأكبر للركام (مم)	وزن متر مكعب للخرسانة الطرية (كلغ)
١٠	٢٢٨٥
١٢.٥	٢٣١٥
٢٠	٢٣٥٥
٢٥	٢٣٧٥
٤٠	٢٤٢٠
٥٠	٢٤٤٥
٧٠	٢٤٦٥

٥,١,٦ استعمال برنامج بالحاسب الآلي :

هناك عدة برامج تقوم بتصميم الخلطات الخرسانية وإيجاد نسب مكونات الخلطة. ونذكر برنامج Concrete Mix Design Software suite الذي يقوم بتحديد نسبة الخلطة معتمداً على معطيات مقاومة ضغط الخرسانة بعد ٢٨ يوم وديمومة الخرسانة (Durability of Concrete) وقابلية تشغيل الخرسانة. وتوجد برامج أخرى مثل:

▪ See Mix III (Concrete Analysis and mix proportioning Software)

▪ MixCalc 101 and MixCalc102 (Concrete Mix design Calculator)

اختبارات على الخرسانة الطرية

٦ - ٢ مقدمة:

يمكن تعريف قابلية تشغيل الخرسانة على أنها كمية الجهد اللازمة للحصول على كثافة كاملة للخرسانة بدون حدوث انفصال حبيبات (segregation)، ولكن عمليا يصعب تحديد درجة التشغيل كما سبق ذكره. وبما أن العلاقة بين مقاومة الخرسانة ووجود فراغات داخل الخرسانة علاقة عكسية، لذا يجب الحصول على أقصى كثافة ممكنة بمعنى آخر زيادة في كمية الفراغات و من ثم انخفاض في كثافة الخرسانة يؤدي إلى انخفاض كبير في المقاومة حيث إن زيادة في كمية الفراغات بمقدار ٥ ٪ تؤدي إلى نقص المقاومة بمقدار ٣٠ ٪.

١,٢,٦ تحديد الوزن الحجمي:

- يتم اجراء التجربة في قالب أسطواني (شكل رقم ١,٦) التي قطرها ١٥ سم وارتفاعها ٣٠ سم.
- تملأ الأسطوانة بالخرسانة الطرية على ثلاث طبقات وتدمك كل طبقة يدويا بواسطة قضيب الدمك أو ميكانيكيا بواسطة الهزاز أو بواسطة طاولة رج.
- يسوى سطح الخرسانة وتوزن الأسطوانة.
- بعد طرح وزن الأسطوانة فارغة منها نحصل على وزن الخرسانة الطرية W .
- يمكن حساب الوزن الحجمي للخرسانة الطرية بالمعادلة التالية أي وزن كمية من الخرسانة المدموكة كليا مقسوما على حجم الأسطوانة:

$$\frac{W}{\frac{\pi}{4}LD^2} = \text{الوزن الحجمي للخرسانة}$$

بحيث:

$$=W \text{ وزن الخرسانة المكثفة كليا}$$

$$=L \text{ ارتفاع الأسطوانة} = ٣٠٠ \text{ مم}$$

$$=D \text{ قطر الأسطوانة} = ١٥٠ \text{ مم}$$



شكل رقم ١,٦ : عملية صب ودمك الخرسانة داخل قالب أسطواني بواسطة هزاز.

مثال:

أوجد الوزن الحجمي للخرسانة الطرية علماً بأن وزن الخرسانة الطرية $W = 12,3$ كجم.

الحل:

$$\text{حجم الأسطوانة} = \frac{\pi}{4} D^2 L = \frac{3.14 \times 0.15^2 \times 0.3}{4} = 0.005298 \text{ متر مكعب.}$$

$$\text{الوزن الحجمي} = \frac{12.3}{0.005298} = 2321 \text{ كجم/م}^3$$

٢,٢,٦ تحديد نسبة مكونات الخرسانة الطرية:

تعريف:

تحديد نسبة مكونات الخرسانة الطرية (كمية الماء والإسمنت والركام الكبير والرمل)، وإيجاد تدرج الركام ونسبة امتصاصها ووزنها النوعي وكثافة الخرسانة الطرية. وفي الأخير يمكن حساب

- نسبة الماء للإسمنت بالوزن (W/C)
- نسبة الركام للإسمنت بالوزن (A/C)
- كمية الماء الحر أي الماء المخصص للتفاعل الكيميائي بين الإسمنت والماء.

طريقة العمل:

- تجرى التجربة بأخذ عينة ممثلة للخلطة ووضعها في وعاء محكم أو كيس بلاستيك لمنع تبخر الماء
- ثم يؤخذ منها جزء ويوزن ويجفف تدريجياً في صينية ويقرب باستمرار حتى يتبخر كافة الماء الموجود فيها ويثبت وزنها. وهنا تتم معرفة نسبة الماء الموجود في هذا الجزء الصغير ومنه نعرف كمية الماء الموجودة في العينة ككل.
- يتم بعد ذلك أخذ باقي العينة وتوزن وتتم معرفة وزن الموجود فيه (من معرفة النسبة في التجربة الأولى).
- توضع العينة في منخل فتحته ٥ مم ويوضع تحته منخل قياس ١٥٠ ميكرون ونستمر بغسل العينة حتى يصبح لون الماء نظيفاً. تؤخذ المواد من على المناخل وتجفف حتى ثبات الوزن ويعين وزنها.
- يلاحظ أن العينة قد فقدت وزنها وأن الفقدان هو وزن الماء والإسمنت فيها. إن وزن الماء فيها معلوم من التجربة السابقة وبذلك يعرف وزن الإسمنت.
- يتم فحص الركام ويعين مقدار امتصاصها للماء ومنه تتم معرفة وزن الماء الذي كان جاهزاً للتفاعل.
- يتم إجراء التدرج للركام لمعرفة فيما إذا كان التدرج مناسباً كما يتم إيجاد الوزن النوعي للركام والتأكد من مطابقة ذلك للمواصفات.

ويمكن كذلك استعمال جهاز فصل مكونات الخلطة الخرسانية الطازجة (R.A.M.) المبين في الشكل رقم ٦- ٢) لتحديد نسبة الإسمنت في الخلطة الخرسانية الطرية باستخلاصه من الخلطة الخرسانية الطازجة حسب المواصفات البريطانية (BS. 1881:part2) ومقارنة هذه النسبة بالنسب المطلوبة المصممة.

مثال:

أوجد مكونات الخرسانة الطرية ونسبة الماء للإسمنت ونسبة الركام للإسمنت.

وزن عينة خرسانية طرية = ١٠٠٠٠ جرام

أخذنا منها عينة صغيرة وزنها = ١١٠٠ جرام

وتم تجفيفها تدريجيا حتى ثبات الوزن وكان الوزن الجاف = ١٠٠٠ جرام.

أخذنا الباقي (٨٩٠٠ جرام) وغسلناه على المناخل وجففناه فكان الوزن الجاف = ٧٠٠٠ جرام.

ثم تم فصل الركام إلى خشن وناعم. فكان الركام الخشن أي المتبقي على منخل ٤ مم هو ٤٥٠٠ جرام.

والركام الناعم أي المار من منخل ٤ هو ٢٥٠٠ جرام.

امتصاص الماء للركام = ٢٪.

الحل:

$$\text{نسبة الرطوبة} = 100\% \frac{1000 - 1100}{1000} = 10\%$$

باقي العينة ١٠٠٠٠ - ١١٠٠ = ٨٩٠٠ جرام.

بعد غسيل العينة وتجفيفها أصبح وزن الركام ٧٠٠٠ جرام.

أي وزن الإسمنت والماء = ٨٩٠٠ - ٧٠٠٠ = ١١٠٠ جرام.

١١٠٠ جرام خرسانة كان بها ١٠٠ جرام ماء للامتصاص والتفاعل.

$$٨٩٠٠ \text{ جرام خرسانة كان بها مقدار } = \frac{8900 \times 100}{1100} = 809 \text{ جرام ماء.}$$

كمية الإسمنت = ١٩٠٠ - ٨٠٩ = ١٠٩١ جرام.

$$\text{الماء للامتصاص} = 7000 \times \frac{2}{100} = 140$$

الماء الحر (الماء للتفاعل) = ٨٠٩ - ١٤٠ = ٦٦٩ جرام.

$$0.61 = \frac{669}{1091} = \text{نسبة الماء للإسمنت}$$

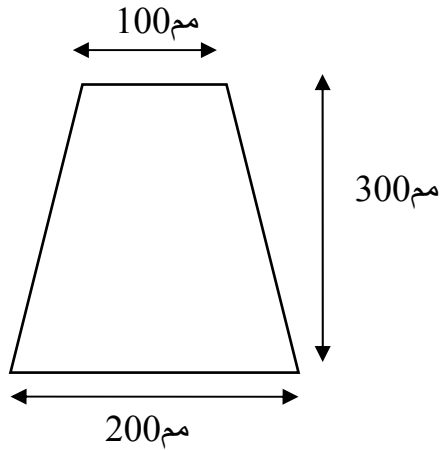
$$6.41 = \frac{7000}{1091} = \text{نسبة الركام للإسمنت}$$



شكل رقم ٦ - ٢: جهاز (RAM) لتحديد نسبة مكونات الخرسانة الطرية

٣,٢,٦ اختبار هبوط الخرسانة الطرية: slump test

يعتبر هذا الاختبار الأقدم و الأكثر استعمالاً في جميع أنحاء العالم طبقاً للمواصفات الأمريكية (ASTM C143-78). هذا الجهاز البسيط يحتوي على قالب مخروط ناقص (frustum cone) بأبعاد قياسية مبيّنة في شكل رقم (٦ - ٣).



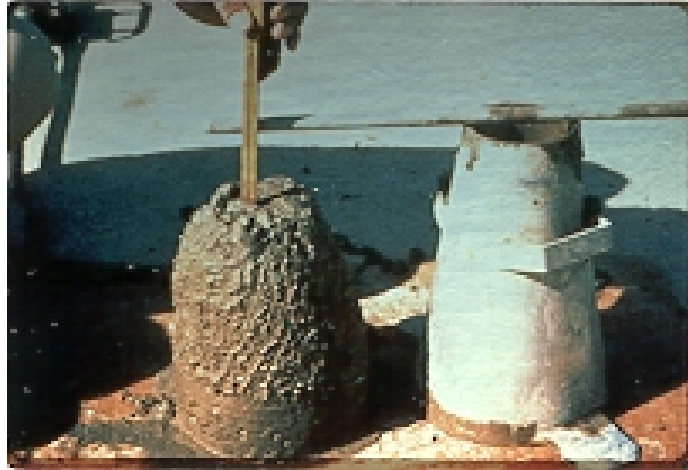
شكل رقم ٣,٦: قالب مخروط ناقص

طريقة العمل:

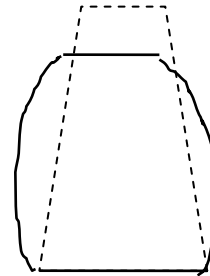
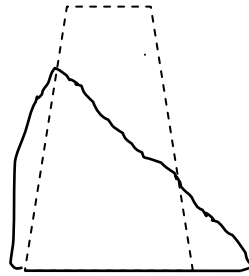
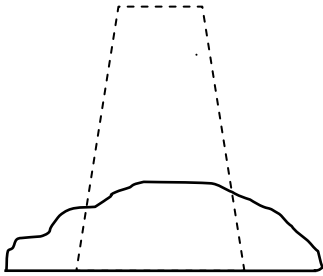
- يملأ القالب بالخرسانة الطازجة على ثلاث طبقات متساوية الحجم.
- دمك كل طبقة ٢٥ مرة بقضيب من الحديد قطره ١٦ مم و مدور في نهايته وطوله ٦٠ سم.
- يسوى سطح المخروط جيداً.
- يرفع القالب رأسياً مباشرة
- يقاس مقدار هبوط الخرسانة مباشرة بالمليمتر أي الفرق بين ارتفاع الخرسانة بعد الهبوط و ارتفاع المخروط. (شكل رقم ٤,٦)

يمكن حدوث ثلاثة أنواع مختلفة من الهبوط اعتماداً على نوع خلطة الخرسانة (شكل رقم ٥,٦).

يجب إعادة الاختبار في حالة هبوط القص و هذا النوع من الهبوط يدل على أن الخرسانة جافة مع إمكانية الإشارة إلى فقدان التماسك (cohesion). أما هبوط الانهيار يدل في الغالب على أن الخرسانة مبتلة جداً أو أن الخرسانة فقيرة (lean concrete). هذا الاختبار مفيد جداً في مواقع المشاريع الإنشائية و يعطي فكرة على أن الخرسانة منتظمة و متجانسة أم لا. ولا ينصح باستعمال هذا الاختبار للخرسانة الجافة جداً و المبتلة جداً لأنه لا يعطي قيمة دقيقة في الحالتين.



شكل رقم ٤,٦: يبين قياس هبوط الخرسانة .



هبوط حقيقي a) True slump هبوط قص b) shear هبوط انهيار c) collapse

شكل رقم ٥,٦: أنواع هبوط الخرسانة.

٦-٢-٤ اختبار كرة كيللي

ويستخدم في هذا الاختبار جهاز كرة الاختراق (شكل رقم ٦,٦). ويقيس هذا الجهاز عمق الاختراق

لنصف كرة معدنية قطرها ١٥٢ مم وتزن ١٤ كجم تتغمس تحت ثقلها في الخرسانة الطازجة.

ويحدد اختبار كرة كيللي قابلية التشغيل للخرسانة ببسر ودقة وهو مشابه لاختبار الهبوط إلا أنه أسهل

منه وأسرع منه ويستخدم للخرسانة في المعمل أو في العمل. ويجب ألا يقل عمق الخرسانة عن ٢٠٠ مم

والأبعاد العرضية عن ٤٠٠ مم.



شكل رقم ٦- ٦: جهاز كرة الاختراق.

٦- ٢- ٥ اختبار إعادة التشكيل (في بي):

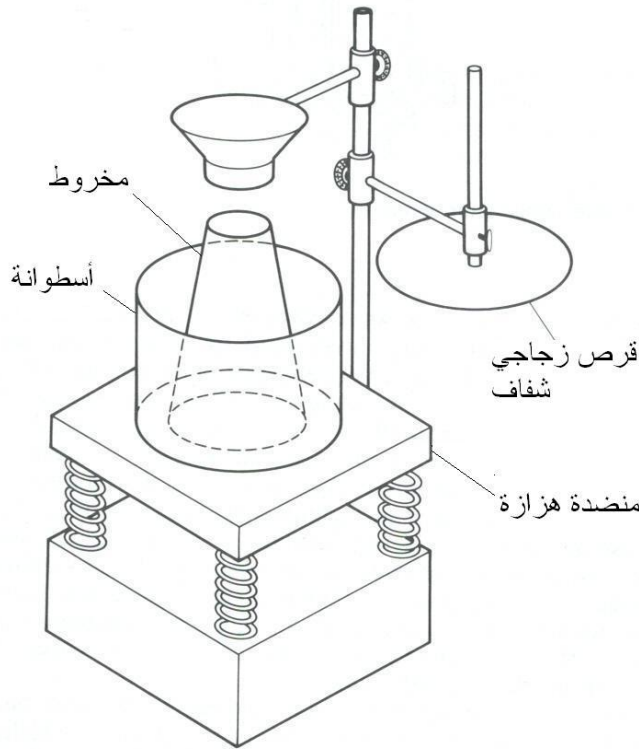
اسم vebe نسبة إلى العالم السويدي V. Bahrner الذي طور هذا الاختبار في سنة ١٩٤٠ و أصبح أكثر استعمالاً و تحت المواصفات البريطانية (BS 1881 part 104 1983) و يعد هذا الاختبار ملائماً جداً لتحديد الفروق بين الدرجات التشغيلية للخرسانات الجافة جداً و يستعمل للخرسانة ذات حبيبات الركام أقل من ٤٠ مم. ويبين شكل رقم (٦-٧) الرسم للجهاز.

طريقة العمل:

- يملأ المخروط بالخرسانة بنفس طريقة اختبار هبوط الخرسانة (slump test)
- يوضع المخروط المستعمل في اختبار الهبوط للخرسانة داخل أسطوانة (قطرها ٢٤٠ مم و ارتفاعها ٢٠٠ مم)
- يرفع القالب رأسياً.
- يوضع قرص زجاجي شفاف فوق الخرسانة (وزن = ٢,٧٥ كلغ) (شكل رقم ٨,٦)
- يحصل دمك الخرسانة باستعمال رج المنضدة.

- يأخذ الزمن (T) بالثانية من بداية استعمال رج المنضدة و حتى يغطى القرص الشفاف كاملا بالخرسانة بمعنى آخر حتى يتغير شكل الخرسانة من المخروط الناقص إلى أسطوانة.

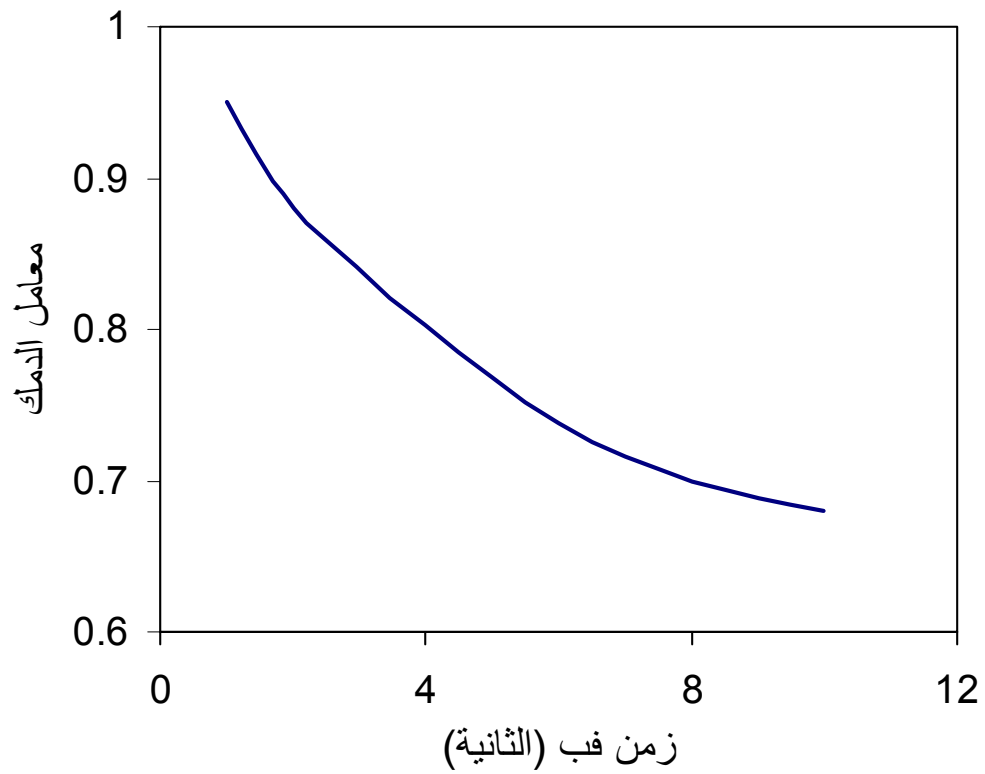
يفترض أن الجهد اللازم للحصول على دمك كامل للخرسانة هو قياس الدرجة التشغيلية للخرسانة و يقاس الزمن بالثانية (Vebe seconds). يكون هذا الاختبار ملائما جدا عندما يتراوح الزمن من ٥ إلى ٣٠ ثانية. وشكل رقم ٦-٩ يبين العلاقة بين عامل الدمك وزمن فب (T) بالثانية بالنسبة للخرسانة العادية.



شكل رقم ٦-٧: جهاز اختبار (في بي)



شكل رقم ٦-٨: اختبار (في بي)



شكل رقم ٦-٩: العلاقة بين معامل الدمك و زمن فب.

٦-٢-٦ اختبار الدمك: compacting factor test

تطور اختبار الدمك في بريطانيا سنة ١٩٤٧ و تستعمل تحت المواصفات البريطانية (BS.1881:part2).

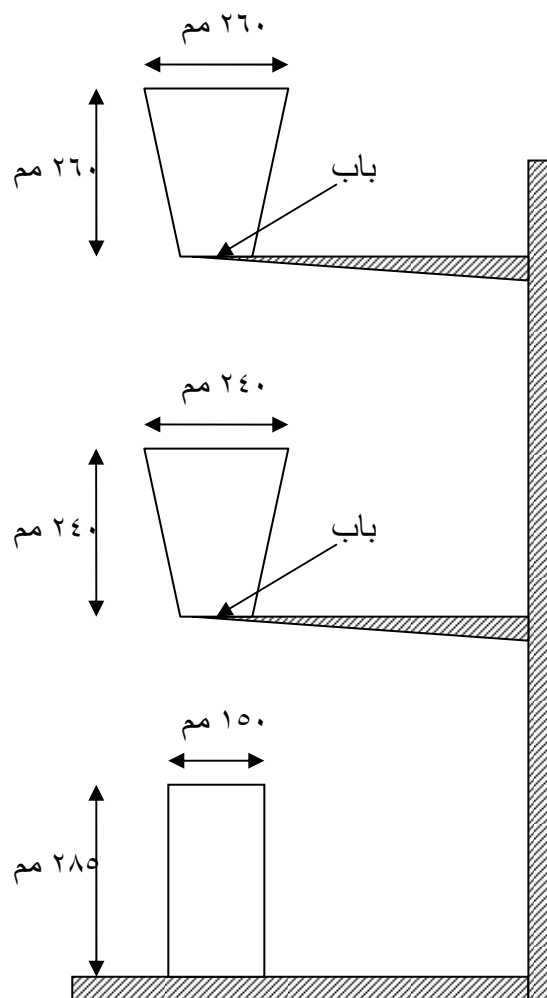
يحتوي الجهاز على قالبين على شكل مخروط ناقص و مجهز بباب في الأسفل و قالب على شكل أسطوانة في الأسفل كما هو موضح في شكل رقم (١٠,٦). ويستحسن استعمال هذا الاختبار للخرسانة الجافة ذات درجة تشغيل منخفضة. واستعمال هذا الجهاز في مواقع المشاريع محدود جدا إلا في المشاريع الكبيرة أو في صنع الخرسانة المجهزة سابقا.

طريقة العمل:

- يملأ القالب الأعلى بالخرسانة الطازجة بدون استعمال أي دمك.
- بعد فتح الباب تسقط الخرسانة تحت تأثير الوزن إلى القالب الأسفل (شكل رقم ١١,٦).
- و كذلك بعد فتح الباب تسقط الخرسانة تحت تأثير وزنها إلى القالب الثالث على شكل أسطوانة.
- يسوى سطح القالب و يزيل الخرسانة الزائدة.
- تقاس بعد ذلك وزن الخرسانة المكثفة جزئيا P_1
- تملأ الخرسانة مرة ثانية بنفس عينة الخرسانة و يتم تكثيفها كاملا بواسطة هزاز داخلي أو على منضدة هز.
- يؤخذ بعد ذلك وزن الخرسانة المكثفة كاملا P_2
- يقاس معامل الدمك (compacting factor) بالمعادلة التالية:

$$C.F = \frac{P_1}{P_2}$$

تكون قيمة معامل الدمك دائما أقل من واحد. وجدول رقم (٦-٦) يدرج قيمة هبوط الخرسانة و معامل الدمك لمختلف درجات تشغيلية و أنواع استعمالات الخرسانة.



شكل رقم (٦-١٠): جهاز اختبار الدمك



شكل رقم ١١-٦ : اختبار الدمك

جدول رقم ٦,٦ : هبوط الخرسانة و معامل الدمك لمختلف الدرجات التشغيلية و أنواع استعمالات الخرسانة.

درجة التشغيلية	هبوط الخرسانة (مم)	عامل الدمك	أنواع استعمال الخرسانة
منخفضة جدا	٢٥ - ٠	٠,٧٨	- طرق مكثفة بأجهزة
منخفضة	٥٠ - ٢٥	٠,٨٥	- طرق مكثفة يدويا - خرسانة الأساسات
متوسطة	١٠٠ - ٥٠	٠,٩٢	- خرسانة مسلحة عادية
عالية	١٧٥ - ١٠٠	٠,٩٥	- خرسانة مسلحة (نسبة التسليح عالية) و صعوبة في استخدام الهزاز

اختبارات على الخرسانة المتصلدة

١,٣,٦ اختبار مقاومة الضغط:

تستعمل عادة عينات صغيرة الحجم لتحديد مقاومة الخرسانة. وتتأثر مقاومة عينات الخرسانة ببعض العوامل الثانوية:

- سرعة التحميل.
- مقاس العينات.
- رطوبة العينات.
- نوع معالجة الخرسانة.

ويستعمل عادة قالب من معدن متين على شكل مكعبات طول ضلعه ١٠٠ مم و ١٥٠ مم طبقا للمواصفات البريطانية أو أسطوانات (قطر = ١٥٠ مم ارتفاع = ٣٠٠ مم). طبقا للمواصفات الأمريكية (ASTM) C470- (81) شكل رقم ٦-١٢.

طريقة العمل:

- يملأ القالب بالخرسانة على طبقتين أو ثلاث طبقات و تدك كل طبقة ب ٢٥ مرة بقضيب حديدي قطره ١٦ مم و مدور في نهايته. و يمكن استعمال الهزاز الخارجي أو الداخلي لتكثيف الخرسانة (شكل رقم ٦-١٣).
- يتم وضع غطاء بلاستيكي على العينات لكي تحافظ على رطوبتها (شكل رقم ٦-١٤).
- تفك العينات من القوالب بعد ٢٤ ساعة.
- توضع العينات مباشرة داخل الماء على درجة حرارة تساوي ٢٠ درجة مئوية حتى يوم الاختبار.
- يجب تغطية القوالب الأسطوانية بمادة كبريتية أو عجينة من إسمنت بورتلاندي (سمكها من ١,٥ إلى ٣ مم) لتسوية السطح الأعلى للخرسانة.
- عند وضع العينة داخل ماكينة الاختبار للضغط (شكل رقم ٦-١٥) يجب التأكد أن يكون السطح العلوي و السفلي للعينة موازيا لأسطح الماكينة. لذلك يجب وضع المكعبات في ماكينة الاختبار بحيث يكون السطح العلوي للقالب عند صب الخرسانة عموديا لسطح الماكينة.

- تكون سرعة حمل الضغط ثابتة و تتراوح بين ٠,٢ إلى ٠,٤ MPa في الثانية.
- يجرى اختبار مقاومة الخرسانة للضغط عادة على ثلاث عينات بعد ٢٨ يوما. و يمكن إجراء اختبارات إضافية بعد ٣ و ٧ أيام أو ممكن بعد ١٣ ، ٢٦ أسبوع و بعد سنة واحدة.

يجب الإشارة أن مقاومة المكعبات للضغط تساوي تقريبا ١,٢٥ مرة مقاومة الأسطوانات للضغط أي:

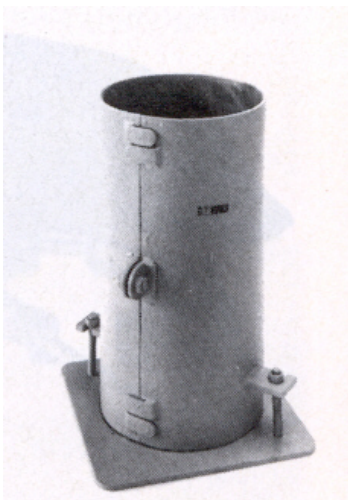
$$f_{cu} = 1.25 f_{cyl}$$

بحيث f_{cu} = مقاومة المكعب

f_{cyl} = مقاومة الأسطوانة

هذه العلاقة هي نتيجة في الفرق في نسبة الارتفاع إلى القطر $\left(\frac{h}{d}\right)$.

$\frac{h}{d} = 2$	الأسطوانة
$\frac{h}{d} = 1$	المكعب



قالب على شكل أسطوانة



قالب على شكل مكعب

شكل رقم ٦-١٢ : القوالب المستعملة في اختبار مقاومة الخرسانة للضغط.



شكل رقم ٦-١٣ : تكثيف الخرسانة باستعمال الهزاز.



شكل رقم ٦-١٤ : وضع غطاء بلاستيكي على العينات.



شكل رقم ١٥-٦ : إجراء اختبار للضغط

٢,٣,٦ اختبار نفاذية الخرسانة للماء:

نقصد بالنفاذية وجود فراغات متصلة ببعضها بشكل تسمح بدخول الماء والهواء من خلالها. قد تكون النفاذية أهم من القوة في بعض الحالات كما في خزانات الماء حتى تحميها من أخطار صدأ الحديد الذي يؤدي إلى زيادة حجم الخرسانة وبالتالي حدوث شروخ وطررد لغطاء الخرسانة فوق الحديد.

أهم العوامل المؤثرة على النفاذية:

- نسبة الماء للإسمنت: كلما زادت كمية الماء في الخلطة زادت النفاذية، بينما قلة الماء تؤدي الى صعوبة الدمك وبالتالي تزيد النفاذية.
- تعطي الإسمنتات الأكثر نعومة عدم انفاذية أكبر لنفس نسبة الماء إلى الإسمنت.
- الإضافات: تقوم الإضافات المانعة للنفاذية بتقليل هذه النفاذية.
- المعالجة: المعالجة الناقصة تسبب النفاذية لأن التفاعل غير المتكامل يؤدي إلى بقاء الفراغات.
- الشقوق وسوء العمل في الخرسانة تسبب النفاذية.

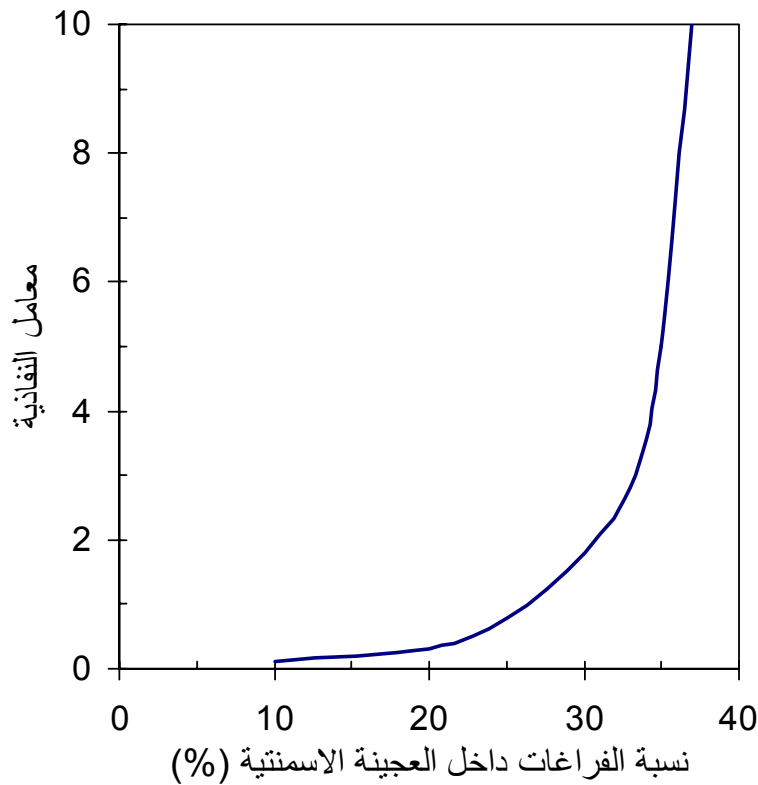
يتم تحديد النفاذية بتحديد كمية الماء أو المسافة التي يقطعها الماء في العينة تحت ضغط معين وخلال فترة من الزمن.

وشكل رقم (٦ - ١٦) يوضح أحد الأجهزة المستخدمة في اختبار نفاذية الخرسانة.



شكل رقم (٦ - ١٦) جهاز لاختبار نفاذية الخرسانة

ويوضح شكل رقم (٦ - ١٧) العلاقة بين معامل النفاذية ونسبة الفراغات داخل العجينة الإسمنتية.



شكل رقم ١٧,٦: العلاقة بين نسبة الفراغات و عامل النفاذية للخرسانة.

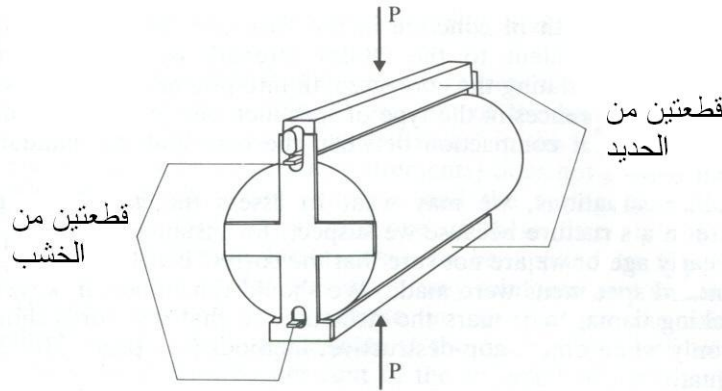
٣,٣,٦ اختبار الانفلاق:

من المعروف أن مقاومة الخرسانة للشد ضعيفة بالنسبة لمقاومتها للضغط. لذلك في الخرسانة المسلحة نعتبر أن حديد التسليح يقاوم جميع قوى الشد ونهمل مقاومة الخرسانة للشد.

طريقة العمل:

- تكون تحضير العينات الخرسانية ومعالجتها بنفس الطريقة لعينات اختبار مقاومة الضغط.
- يجرى الاختبار عادة على ثلاث عينات بعد ٢٨ يوما.
- يتم ضمان توزيع الحمل على العينة عن طريق قطعتين من الخشب أو عن طريق حشو تحميل من الغبر المضغوط المطبق بالزيت بعرض ١٥ مم وسماك ٤ مم وطول يزيد عن طول عينة الاختبار، مثبتتين فوق وتحت العينة (شكل رقم ٦ - ١٨)

- توضع عينة أسطوانية (٣٠٠x١٥٠ مم) من نفس النوع المستعمل في اختبار مقاومة الضغط في ماكينة الاختبار بشكل أفقي (شكل رقم ١٩,٦).
- في هذا الاختبار تحمّل العينة تدريجياً حتى يحدث الانفصال.
- هذا الانفصال هو نتيجة إجهاد الشد على المستوى الرأسي للعينة .
- يوجد إجهاد ضغط عال عند أسفل و أعلى الأسطوانة.



شكل رقم ١٨,٦: وضع العينة الأسطوانية لاختبار الانفلاق.



شكل رقم ١٩,٦: اختبار الانفلاق.

■ يمكن حساب مقاومة الشد في وسط العينة (σ_t) بالمعادلة التالية:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi LD}$$

حيث p: الحمل

D: قطر الأسطوانة = ١٥٠ مم

L: طول الأسطوانة = ٣٠٠ مم

يمكن إستعمال عينات على شكل مكعبات وتكون مقاومة الشد كمايلي:

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi a^2}$$

a= طول ضلع المكعب

شكل رقم (20-6) يبين قطعتين من الأسطوانة بعد كسر العينة.



شكل رقم ٦- ٢٠: قطعتان من الأسطوانة بعد كسر العينة باختبار الانفلاق.

عموما وجد أن قيمة إجهاد الشد بطريقة الانفلاق تكون حوالي ١٥٪ أعلى من القيمة المحصلة عليها بطريقة إختبار الشد المباشر.

٤,٣,٦ اختبار الشد بالإنحناء:

نستعمل كذلك إختبار الإنحناء (شكل رقم ٢١,٦) لتحديد مقاومة الشد للخرسانة. والعينة المستعملة على شكل كمره ١٥٢ x ٥٠٨ x ١٥٢ مم طبقا للمواصفات الأمريكية (ASTM C78) أو ١٥٠ x ١٥٠ x ٧٥٠ مم طبقا للمواصفات البريطانية (BS:1881).



شكل رقم ٦- ٢١: وضع عينة الخرسانة على شكل كمره داخل ماكينة الاختبار.

طريقة العمل:

- تكون صب ودمك و معالجة الخرسانة بنفس طريقة إختبار مقاومة الضغط.
- يجرى إختبار الانحناء للخرسانة عادة على ثلاث عينات بعد ٢٨ يوما.
- تكون سرعة الحمل ثابتة بحيث تكون زيادة إجهاد الشد تتراوح من ٠,٢ إلى ٠,١٠ MPa في الثانية.

- في هذا الاختبار تحمل العينة في نقطتين كما هو موضح في الشكل ٦- ٢٢. وبذلك ينتج عزم انحناء ثابت بين نقطتي الحمل وعلى ذلك يكون ثلث الكمرة معرض إلى أقصى إجهاد. ويحدث إجهاد الشد الأقصى في المنطقة السفلى من الكمرة ويسمى معايير الكسر (modulus of rupture). وتتعدم قوة القص في تلك المنطقة (شكل رقم ٢٢,٦).
- عندما يحدث الكسر في المنطقة الوسطى للكمرة (شكل رقم ٢٢,٦)، يحسب معايير الكسر (R) بالمعادلة التالية.

$$R = \frac{Pl}{bd^2}$$

حيث p: الحمل الأقصى

l: المسافة بين الدعامتين = ٤٥٠ مم

d: ارتفاع الكمرة = ١٠٠ مم

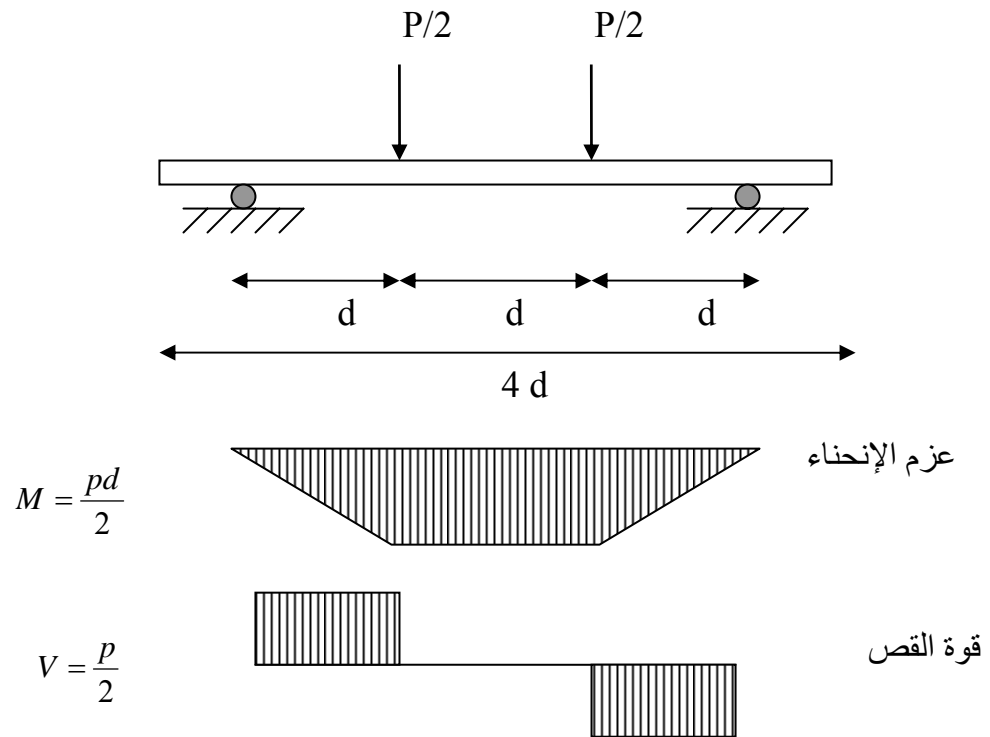
b: عرض الكمرة = ١٠٠ مم

- عند حدوث الكسر خارج المنطقة الوسطى للكمرة (على أن يكون بعد الكسر عن المنطقة الوسطى أقل من ٥٪ من طول العينة) يمكن استعمال المعادلة التالية:

$$R = \frac{3Pa}{bd^2}$$

a = المسافة بين نقطة الكسر إلى أقرب ركيزة.

- عند حدوث الكسر قريب جدا من إحدى الركيزتين يجب إعادة الاختبار.
- عموما إختبار الانحناء يعطي قيمة الإجهاد الشد أعلى من إختبار الشد المباشر.



شكل رقم ٢٢,٦: عزم الانحناء و قوة القص عند تحميل الكمره على نقطتين.

شكل رقم (٦ - ٢٢) يبين قطعتين من الكمره بعد كسر العينة.



شكل رقم ٢٣,٦ : قطعتان من الكمره بعد كسر العينة.

٥,٣,٦ اختبار القلع:

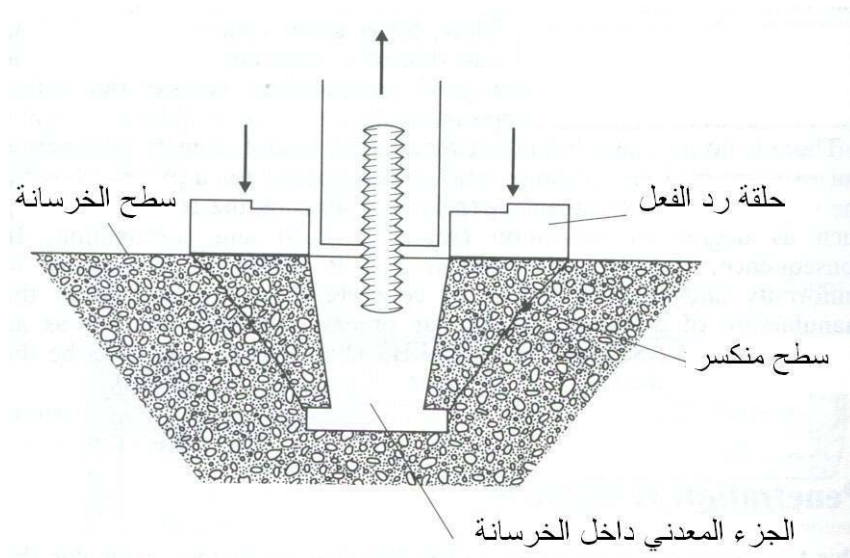
يستدعي هذا الاختبار (شكل رقم ٢٤,٦) تحديد القوة اللازمة لقلع قطعة من الحديد موضوعة داخل الخرسانة أثناء صبها ثم تقاس المقاومة (f_p) بالمعادلة التالية

$$f_p = \frac{F}{A}$$

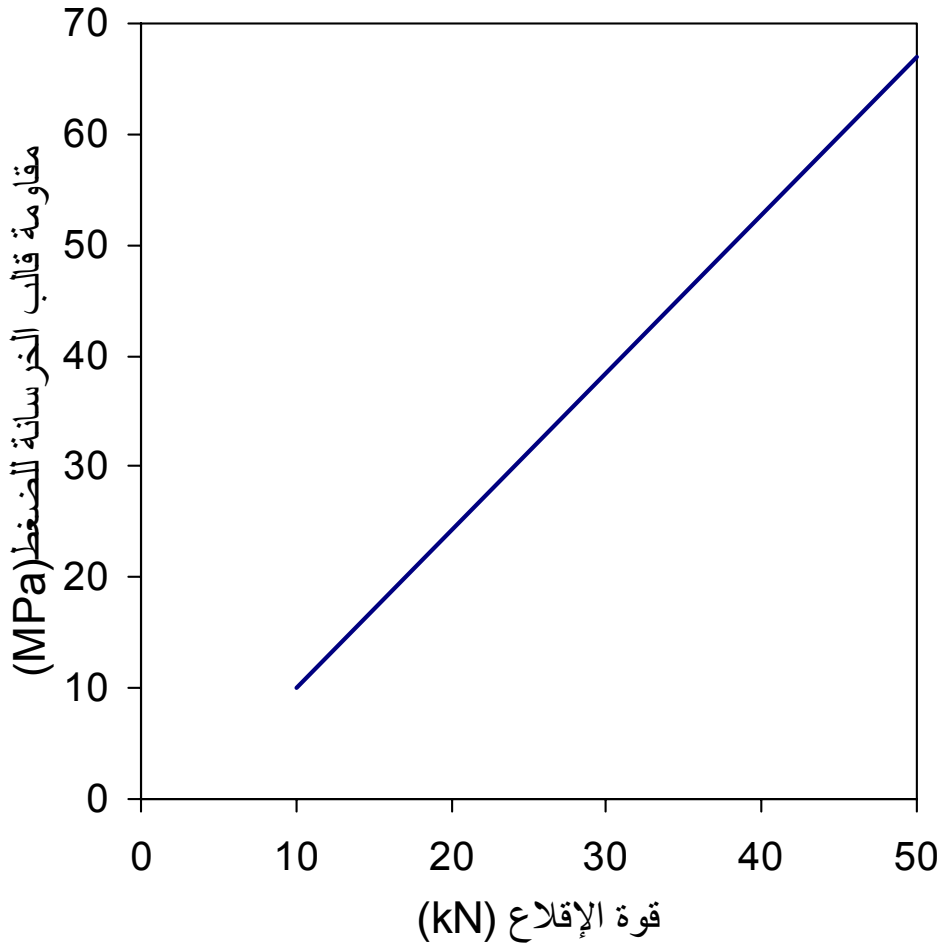
F = القوة اللازمة لإقلاع قطعة الحديد

A = مساحة الخرسانة المقلوعة.

هذه المقاومة (f_p) تعطي قيمة مقاومة الخرسانة للقص. بينما توجد علاقة بين القوة (F) ومقاومة الخرسانة للضغط (شكل رقم ٢٥,٦)



شكل رقم ٢٤,٦: جهاز اختبار القلع



شكل رقم ٦- ٢٥: العلاقة بين قوة الإقلاع و مقاومة للضغط.

٦- ٣- ٦ تحديد مكان حديد التسليح داخل الخرسانة المسلحة (استعمال الكوفرميتر):

يستخدم جهاز كوفرميتر (شكل رقم ٢٦,٦) لتحديد قطر و مكان حديد التسليح لمسافة تصل إلى ٢٥٠

مم داخل الخرسانة وكذلك غطاء الحديد.

ويمتاز هذا الجهاز بأنه سهل للاستعمال.



شكل رقم ٦- ٢٦ : جهاز كوفر ميتر.

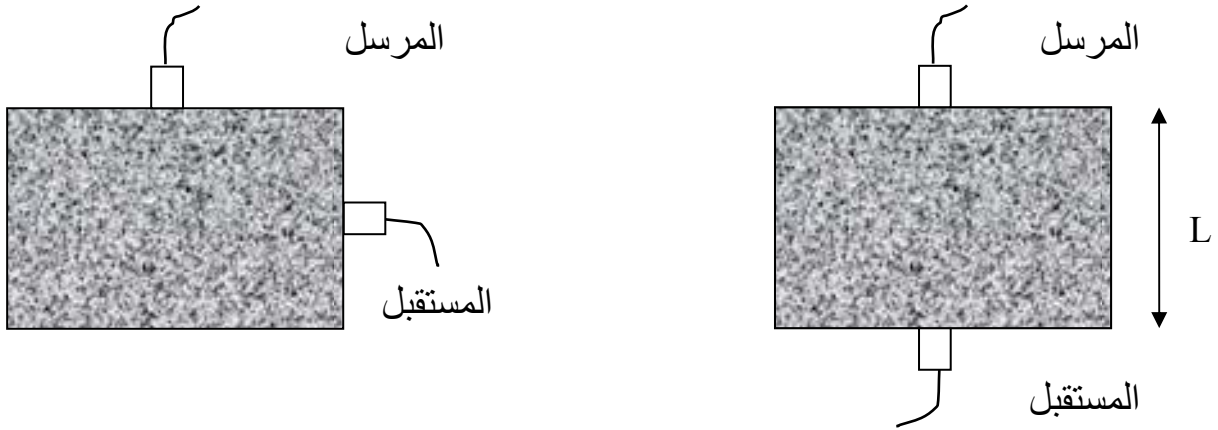
٧,٣,٦ اختبار قياس سرعة الموجات فوق الصوتية (Ultrasonic pulse velocity)

يستخدم هذا الاختبار موجات صوتية عبر الخرسانة (شكل رقم ٢٧,٦) و يتم قياس زمن المرور (T) بين المرسل و المستقبل (شكل رقم ٢٧,٦) بدقة الخطأ بحوالي ١%. ويراعى معايرة الجهاز باستخدام قضبي معايرة بطول ٢٥٠ مم.



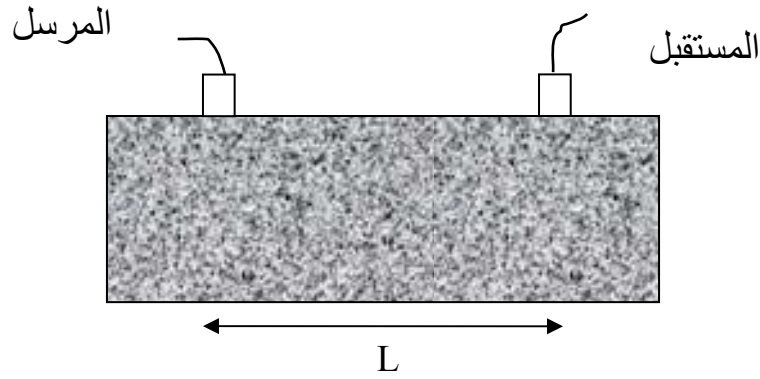
شكل رقم ٦- ٢٧ : جهاز قياس سرعة الموجات فوق الصوتية.

يستحسن استعمال الإرسال المباشر (شكل رقم ٢٨,٦) إذا أمكن الحال مثلاً في عمود الخرسانة. و لكن في بعض الأحيان يستحيل استعمال طريقة (a) مثلاً في أساسات الخرسانة أو البلاطات فتستعمل طريقة (b) أو (c) .



(a): الإرسال المباشر

(b): الإرسال غير المباشر



(c): الإرسال على السطح

شكل رقم ٦- ٢٨ : طرق الإرسال و الاستقبال موجات فوق الصوتية.

و بعد ذلك تحسب سرعة الصوت (V) بالثانية.

$$V = \frac{L}{T}$$

بحيث L = المسافة (م)

T = الزمن (الثانية)

يمكن ربط سرعة الصوت (V) في الخرسانة و معايير المرونة (E) بالمعادلة التالية:

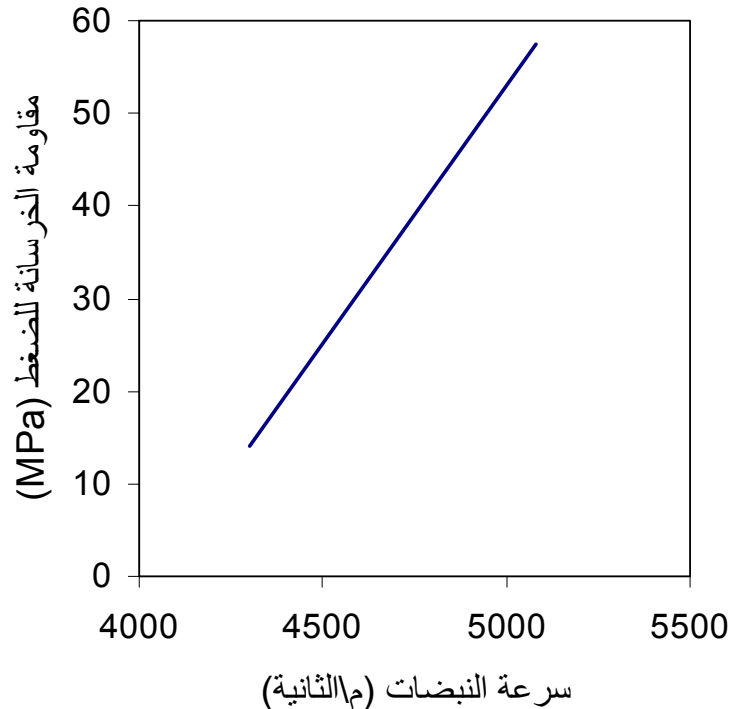
$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

بحيث إن

$$\rho = \text{كثافة الخرسانة.}$$

لذلك بمعرفة معايير مرونة الخرسانة يمكن إذاً تقييم جودة الخرسانة التي أجري عليها الاختبار. كما يمكن استعمال سرعة النبضات (pulse velocity) مباشرة لتقييم جودة الخرسانة أو ربطها عموماً بمقاومة الخرسانة (شكل رقم ٦ - ٢٩). بينما يصعب استعمال هذه العلاقة لتحديد مقاومة الخرسانة بسبب وجود عوامل كثيرة تؤثر على هذه العلاقة مثل:

- نوع و كمية الركام.
- كمية الماء داخل الخرسانة.
- وجود حديد التسليح.
- درجة حرارة.



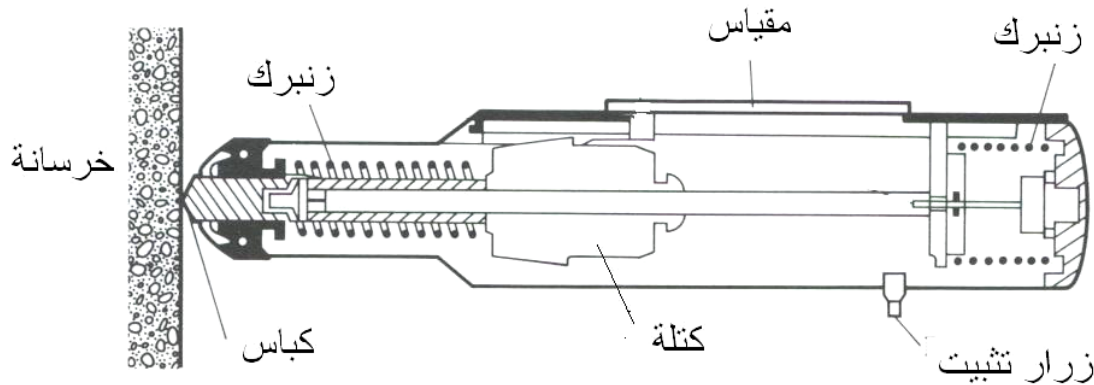
شكل رقم ٦ - ٢٩: العلاقة بين مقاومة الخرسانة للضغط و سرعة الموجات فوق الصوتية للخرسانة العادية.

عملياً يستخدم هذا الاختبار لعدة مجالات:

- لمعرفة وجود تشققات (cracks) داخل الخرسانة في المنشأ (مثلاً في السدود).
- مراقبة جودة الخرسانة.
- تحديد الاختلاف في دمك الخرسانة من مكان إلى مكان آخر.

٨,٣,٦ اختبارات مقاومة سطح الخرسانة بواسطة مطرقة شميدت: Schmidt hammer

يعتبر كذلك هذا النوع من الاختبارات غير المتلفة (non-destructive testing) للخرسانة و يكشف عن قوة تحمل سطح الخرسانة. و يمتاز هذا الاختبار أنه سهل و سريع في تحديد مقاومة الخرسانة و أكثر دقة من اختبار مطرقة الكرة. وشكل رقم (٣٠,٦) يبين جهاز مطرقة شميدت.



شكل رقم ٦ - ٣٠: جهاز مطرقة شميدت.

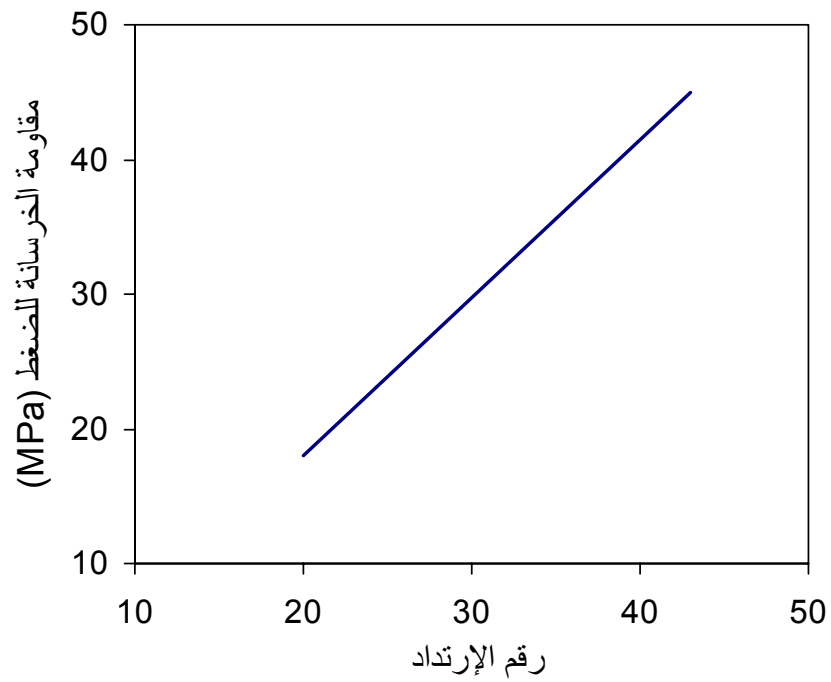
طريقة العمل تتلخص في صدم الزنبرك (plunger) عمودياً على سطح خرسانة مستوية (شكل رقم ٣١,٦). و يقرأ رقم الارتداد بينما يكون الجهاز مثبتاً و ضاغطاً على سطح الخرسانة. و توجد علاقة بين رقم الارتداد و قيمة مقاومة الخرسانة للضغط على أساس نتائج التجارب السابقة (شكل رقم ٣٢,٦).

هذا الاختبار حساس جداً لوجود الركام أو فراغات هوائية صغيرة مباشرة تحت زنبرك لذلك ينصح بأخذ من ١٠ إلى ١٢ قراءة في المساحة التي يجري عليها الاختبار. ثم نأخذ متوسطها. وينصح بأن تتباعد نقاط الاختبار بمسافة ٥ سم تقريباً وأن يتم تنعيم سطح الخرسانة الذي يجري عليه الاختبار. فوجود فراغات هوائية يؤدي إلى انخفاض في رقم الارتداد أما وجود الركام فيؤدي إلى زيادة في رقم الارتداد.

و كذلك سطح الخرسانة الجاف يعطي أرقاماً أعلى من سطح الخرسانة المبللة بالماء. و وضعية الجهاز (أفقي أو عمودي) تؤثر على رقم الارتداد بسبب تأثير وزن المطرقة (شكل رقم ٣٣,٦).

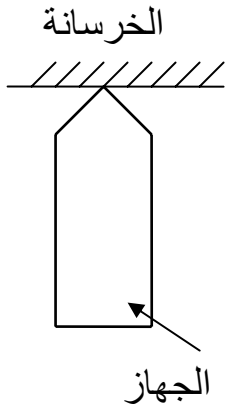


شكل رقم ٦- ٣١ : وضع جهاز مطرقة شميدت عمودياً على سطح الخرسانة.

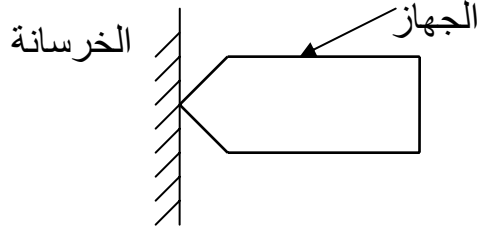


شكل رقم ٦- ٣٢: العلاقة بين رقم الارتداد وقيمة مقاومة الخرسانة.

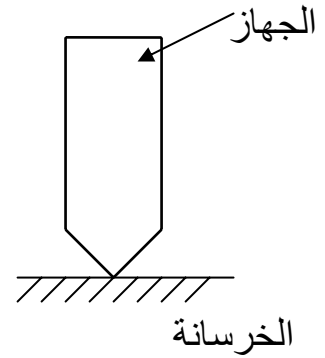
س



حالة (a)



حالة (b)



حالة (c)

رقم الارتداد في حالة (a) > حالة (b) > حالة (c)

شكل رقم ٣٣,٦: تأثير وضع جهاز مطرقة شميدت على قيمة رقم الارتداد.

هذا الاختبار مفيد في تحديد الاختلاف في مقاومة الخرسانة من مكان إلى مكان آخر إذا تغير رقم الارتداد. ويراعى التحقق من كفاءة وسلامة الجهاز بين فترة وأخرى باستخدام نظام المعايرة.

الطرق الإحصائية لدراسة النتائج على الاختبارات

١،٤،٦ التحليل الإحصائي للبيانات:

عند تقويم نتائج مقاومة ضغط الخرسانة لا يكتفى في العادة الحصول على متوسط القيم للحكم على النتائج بشكل سليم لأنه لا يعطي صورة واضحة عن مدى تشتت القيم و تفاوتها ، بينما يساعد علم الإحصاء على إعطاء نظرة واسعة و شاملة للعلاقات المختلفة التي تؤثر في النتائج. وأهم الأسس و التعاريف الإحصائية

١. الأصل الكلي:

يعتبر الأصل الكلي (X) لجميع قيم اختبار الأسطوانات أو المكعبات مصنعة من عينة واحدة من الخرسانة من خلطة ما لها نفس المكونات و طريقة التصنيع و ظروف المعالجة و العمر و ظروف الجو المحيط.

٢. العينة العشوائية:

تسمى قيم الاختبارات (X_1, X_2, \dots, X_n) عينة عشوائية و تعطي فكرة عن معالم العينة الأصلية و مدى ظهورها و توزيعها. و أهم شروط العينة العشوائية أنها تؤخذ بشكل عشوائي من العينة الأصلية أو الكلية.

٣. الجدول الأصلي والجدول المرتب:

يعتبر الجدول الأصلي هو الذي يحتوي على القيم حسب ظهورها الزمني مثل تعيين مقاومة ضغط الخرسانة و كثافتها و غير ذلك.

و إذا ما تم ترتيب القيم طبقاً لمقدارها تصاعدياً أو العكس من (X_1, X_2, \dots, X_n) فإننا نحصل على الجدول المرتب.

٤. المدى: Range

فإذا أسمينا أصغر قيمة عددية في الجدول X_1 ، و أكبر قيمة عددية في الجدول X_n فإن الفرق ($X_n - X_1$) يسمى المدى (Range) الذي تقع فيه كل القيم. أي طرح أقل قيمة من أكبر قيمة مقاومة لمجموعة من الأسطوانات أو المكعبات.

٥. التصنيف والمدرج التكراري: (Classification and the Histogram)

التصنيف هو عبارة عن توزيع القيم إلى مجموعات متشابهة تسمى الفئات (Intervals) و من ثم توضع في كل فئة المفردات (القيم) التي تنتمي إليها، بحيث يتضح من ذلك عدد مرات تكرار كل فئة، و إذا تم اختيار عرض الفئة (I) فإنه يمكن حساب عدد الفئات (N).

$$N = \frac{Range}{I} = \frac{(X_n - X_1)}{I}$$

وبعد ذلك نرسم كل فئة في مقابل تكرارها (Frequency) في رسم بياني مناسب يسمى المدرج التكراري (Histogram).

مثال:

ارسم المدرج التكراري لقيم مقاومة الضغط (١٠٠ مكعب) طبقاً للفئات المبينة في الجدول التالي:

عدد المكعبات (التكرار)	مقاومة الضغط (N/mm ²)
٥	٢٠ – ١٨
١٥	٢٢ – ٢٠
٢٠	٢٤ – ٢٢
٣٠	٢٦ – ٢٤
١٥	٢٨ – ٢٦
١٠	٣٠ – ٢٨
٥	٣٢ – ٣٠

الحل:

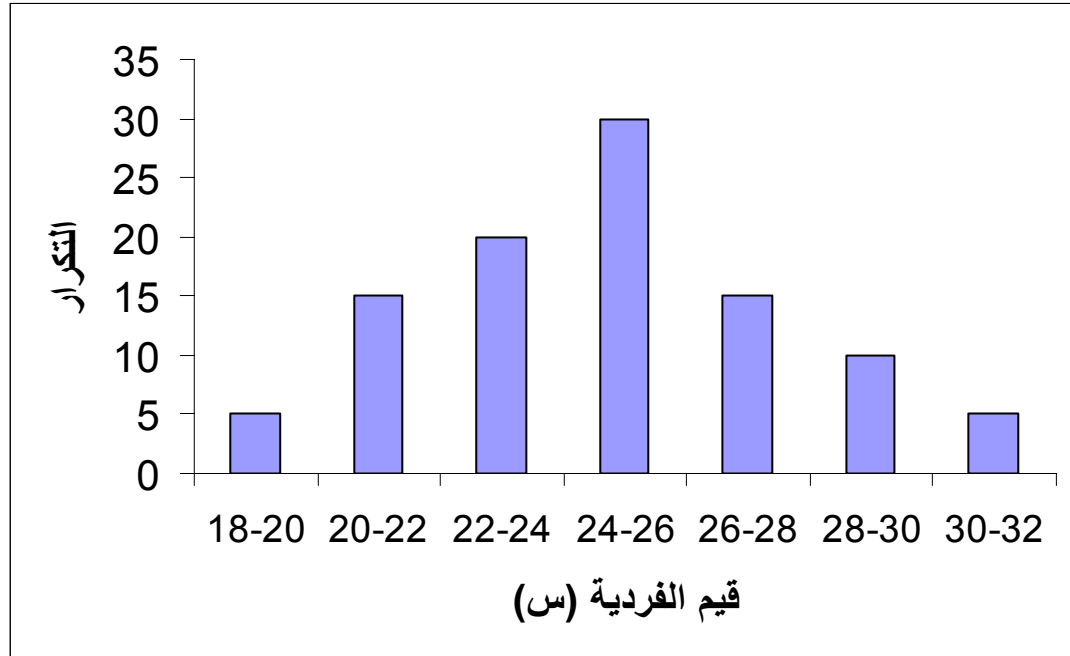
$$N/mm^2 \ ٢,٠٠ = I$$

$$\text{المدى} = ١٨ - ٣٢ = ١٤ \text{ N/mm}^2$$

$$N = ٢ \ ١٤ = ٧ = \text{عدد الفئات}$$

نقسم المحور الأفقي إلى سبعة أقسام متساوية كل منها عبارة عن عرض الفئة (I)، و ندرج المحور الرأسي ابتداء من الصفر بحيث يسمح بظهور أكبر تكرار في الجدول و هو ٣٠.

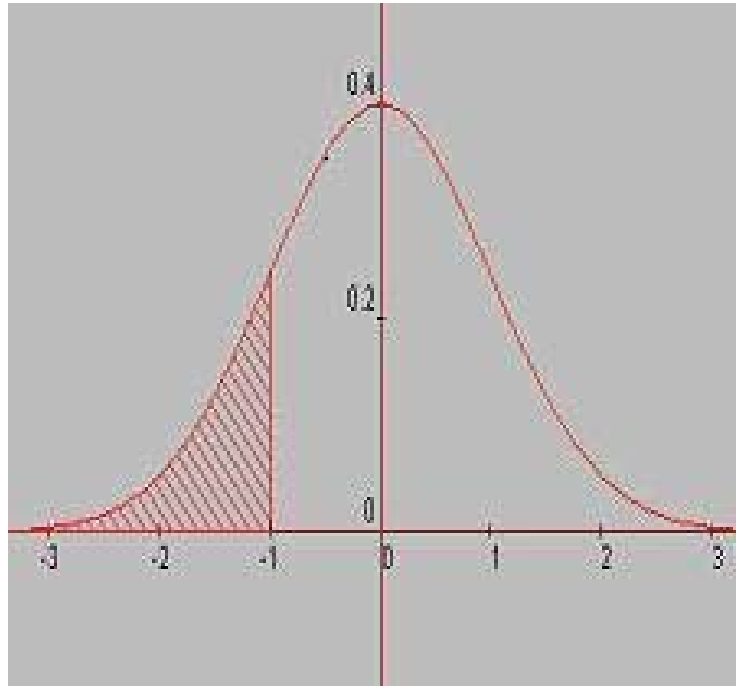
نرسم مستطيلاً لكل فئة قاعدتها تساوي عرض الفئة و ارتفاعه يساوي تكرار هذه الفئة ، وبذلك نحصل على المدرج التكراري على شكل عبارة عن مجموعة من المستطيلات المتلاصقة (شكل رقم ٣٤,٦).



شكل رقم ٣٤,٦: المدرج التكراري

٦. منحنى التكرار (التوزيع ، والتقسيم) (Distribution):

يكون شكل المنحنى في كثير من الأحيان قريباً من المنحنى الإحصائي المشهور بمنحنى (جرس جاوس)، و يوصف التوزيع القريب من هذا المنحنى بالتوزيع الطبيعي (المعتاد) (Normal Distribution) كما هو مبين في الشكل رقم (٦ - ٣٥).



الشكل رقم (٦ - ٣٥): التوزيع الإحصائي الطبيعي (المعتاد) للقيم.

٧. المتوسط:

يفهم تحت تعبير المتوسط (\bar{X}) المتوسط الحسابي لعدد من القيم (الفردية) و هو المجموع الكلي لهذه القيم مقسوما على عددها (n) و يحسب المتوسط من المعادلة التالية:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

حيث:

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ هي نتائج جميع القيم الفردية التي عددها n مصنعة من عينة واحدة مأخوذة من خلطة واحدة للخرسانة.

٨. الانحراف المعياري:

و يعد الانحراف المعياري من أهم القيم الإحصائية ، لأنه يعطي فكرة عن مدى اختلاف المتوسط عن بقية القيم الفردية. و في حالة التوزيع الطبيعي للقيم يمثل الانحراف المعياري (σ) نصف المسافة بين نقطتي انقلاب المنحنى. و يحسب الانحراف من المعادلة التالية:

$$\sigma = \left\{ \frac{[(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2]}{n - 1} \right\}^{1/2}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [X_i - \bar{X}]^2}{n - 1}}$$

٩. معامل التفاوت:

يعبر معامل التفاوت عن رقم إحصائي ليس له وحدة قياس و هو كنسبة مئوية من المتوسط و يحسب من المعادلة التالية:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

و يوضح هذا المعامل أن التشتت الكبير مع المتوسط الكبير يعادل التشتت الصغير مع المتوسط الصغير و يعطي بذلك فكرة عن مدى تناسق الإنتاج.

٢,٤,٦ المقاومة المتوسطة والمقاومة المميزة :

المقاومة المتوسطة لكسر الخرسانة بالضغط هي معدل قيم مقاومة كسر لنماذج الفحص المختلفة لعينة واحدة من الخرسانة.

تعرف المقاومة المميزة للخرسانة بالقيمة الدنيا لمقاومة كسر نماذج الفحص المختلفة لعينة واحدة من الخرسانة. وتحسب المقاومة المميزة من قيمة المقاومة المتوسطة للكسر حسب المعادلة التالية:

$$f_{cu} = f_{cm} - t\sigma$$

حيث:

f_{cu} : المقاومة المميزة.

f_{cm} : المقاومة المتوسطة للكسر.

t : ثابت يعتمد على نسبة الاختبارات التي تقع تحت المقاومة المميزة f_{cu} .

σ : القيمة المتوقعة للانحراف المعياري.

يمكن استعمال جدول رقم (٦ - ٧) لتحديد الثابت t ونفترض أن ٥٪ من النتائج تقع تحت المقاومة المميزة.

جدول ٧,٦: ثابت t لعينة عشوائية.

عدد الاختبارات n	t
١٢	٢,١٠
١٥	١,٩٧
٢٠	١,٨٤
٢٥	١,٧٥
٣٠	١,٧٠
٣٥	١,٦٤

نستعمل المعادلة التالية إذا كان عدد الاختبارات ٣٥ أو أكثر:

$$f_{cu} = f_{cm} - 1.64\sigma$$

وبالتالي تقع قيمة المقاومة المميزة على بعد (1.64σ) من قيمة المقاومة المتوسطة.

أما للعمليات الصغيرة، وحيث لا توجد معلومات سابقة فيلزم تصميم الخرسانة للحصول على قيمة متوسطة f_{cm} تزيد بمقدار ٨٥ كجم/سم^٣ عن القيمة المميزة f_{cu} .

مثال:

أوجد قيمة المقاومة المطلوبة المتوسطة (f_{cm}) لتحديد نسب مكونات الخلطة الخرسانية إذا فرض أنه لايجوز أن تقع أكثر من ٥٪ من الاختبارات الأحادية العشوائية تحت قيمة المقاومة المميزة f_{cu} (٣٠٠ كجم/سم^٣) وانحراف معيار قدره ٤٣ كجم/سم^٣.

الحل:

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

$$f_{cm} = 300 + 1.64 \times 43 = 370 \text{ كجم/سم}^3$$

أما إذا لم تكن هنالك أية معلومات فتكون المقاومة المتوسطة لتصميم الخلطة الخرسانية قدرها:

$$f_{cm} = 300 + 85 = 385 \text{ كجم/سم}^3$$

٣, ٤, ٦ مستويات التحكم في الجودة :

و يبين الجدول التالي بعض قيم معامل التفاوت التي تساعد على معرفة مدى التحكم في إنتاج الخرسانة (الجودة).

جدول رقم ٦ - ٨: معامل التفاوت لمراقبة التحكم في إنتاج الخرسانة في الموقع وفي المصنع.

معامل التفاوت (V).		مدى التحكم في جودة الخرسانة
في الموقع.	في المصنع	
١٠ >	٥ >	جيد جدا
١٥ - ١٠	٧ - ٥	جيد
٢٠ - ١٥	١٠ - ٧	مقبول
٢٠ <	١٠ <	سيء جدا

٤,٤,٦ الحكم على صلاحية الخرسانة:

تعتبر نتائج مقاومة الأسطوانات أو المكعبات هي المؤشر الصحيح لمعرفة جودة الخرسانة في المنشأ. ويعتبر عدد الاختبارات التي تقل عن المقاومة المطلوبة أكبر أهمية في حساب قدرة التحمل للمنشأ عن متوسط تلك المقاومة. وعليه فإنه ليس من الناحية العملية توصيف حد أدنى للمقاومة، حيث إنه من المحتمل دائماً وجود قيم أقل من هذا الحد الأدنى.

وفي العادة تختار المواصفات العالمية النسبة المئوية التي يجوز أن تقل مقاومة ضغط الخرسانة عن المقاومة المميزة بمقدار ٥٪. وهذا يعني عند الحكم على صلاحية الخرسانة أنه من المحتمل حدوث أخطاء في بعض نتائج الاختبارات تقع في حدود ٥٪.

ونسبة ٥٪ تعني أنه إذا اختبارنا عشرين أسطوانة، فإنه يسمح بأن مقاومة أسطوانة واحدة أقل من قيمة المقاومة المطلوبة. ولا بد أن تكون بقية القيم (التسعة عشر) أعلى من القيمة المطلوبة.

مثال :

احسب القيم الإحصائية (المتوسط، والانحراف المعياري، ومعامل التفاوت) للمعطيات التالية و بين مدى تناسق الإنتاج في الموقع.

الرقم التسلسلي	مقاومة الضغط (MPa)	الرقم التسلسلي	مقاومة الضغط (MPa)
١	٢٣	٤	٢٩
٢	٢٥	٥	٣٠
٣	٢٨	٦	٢٦

الحل:

(١) المتوسط:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{23 + 25 + 28 + 29 + 30 + 26}{6} = 26.83 MPa$$

(٢) الانحراف المعياري:

$$\sigma = \left\{ \frac{[(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2]}{n-1} \right\}^{1/2}$$

$$\sigma = \left\{ \frac{[(23 - 26.83)^2 + (25 - 26.83)^2 + (28 - 26.83)^2 + (29 - 26.83)^2 + (30 - 26.83)^2 + (26 - 26.83)^2]}{5} \right\}^{1/2} =$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{34.8334}{5}} = \sqrt{6.96668} = 2.6394 MPa$$

(٣) معامل التفاوت:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 = \frac{2.6394}{26.83} \times 100 = 9.837 < 10$$

يمكن أن نقول أن تناسق إنتاج الخرسانة جيد جدا.

تمرين ١:

ارسم المدرج التكراري لقيم مقاومة الضغط (١٥٠ مكعب) طبقاً للفئات المبينة في الجدول التالي:

عدد المكعبات (التكرار)	مقاومة الضغط (N/mm ²)
١٠	٢٠ – ١٨
١٥	٢٢ – ٢٠
٢٥	٢٤ – ٢٢
٤٠	٢٦ – ٢٤
٣٠	٢٨ – ٢٦
٢٠	٣٠ – ٢٨
١٠	٣٢ – ٣٠

تمرين ٢:

احسب القيم الإحصائية للمعطيات التالية و بين مدى مطابقة مقاومة الضغط لكل من المقاومة المتوسطة و مدى تناسق الإنتاج.

الرقم التسلسلي	مقاومة الضغط (MPa)
١	٣٥
٢	٣٢
٣	٢٨
٤	٢٦
٥	٣٤