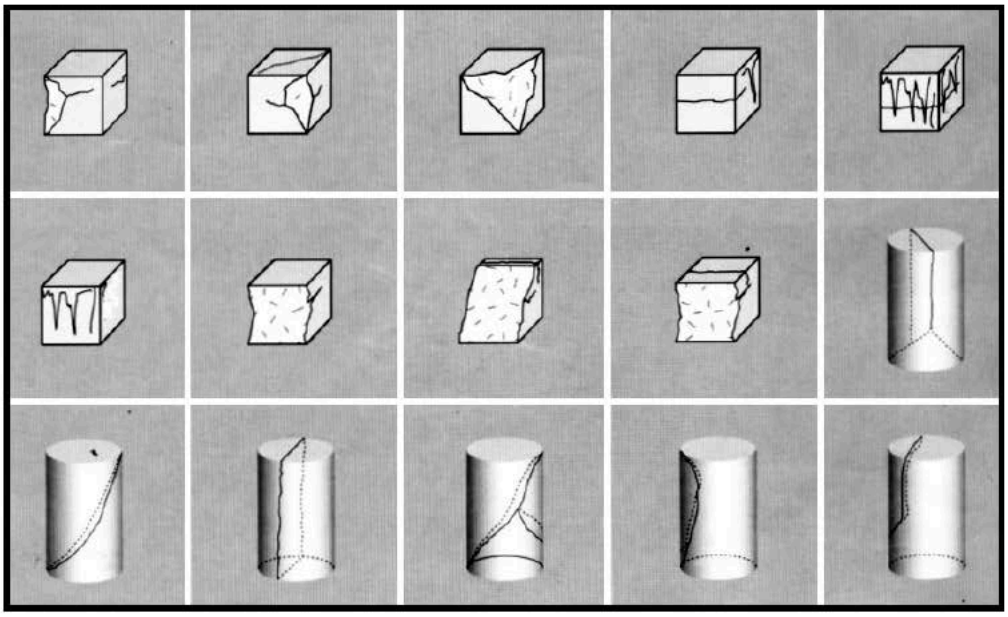


شكل (١٧) شكل إنهيار غير صحيح لعينات اختبار فى الضغط.

١-٣ اختبار مقاومة الضغط Compressive Strength Test

يجرى إختبار تحديد مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة عادة بعد مرور ٢٨ يوماً على صب العينات وفى بعض الأحيان بعد ٧ أيام أو بعد فترة أخرى حسب الحاجة.

عينات الاختبار :

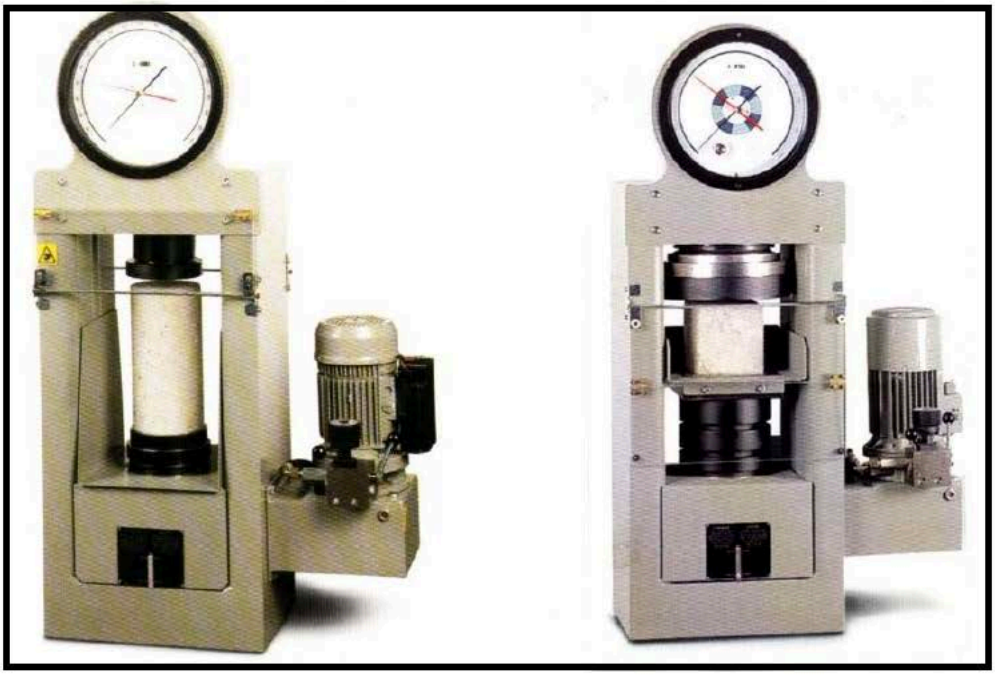
تكون عينة الإختبار بشكل مكعب طول ضلعه ١٥,٨ سم أى مساحة الوجه = ٢٥٠ سم٢ أو مكعب طول ضلعه ١٥ سم أو إسطوانة قطرها ١٥ سم وإرتفاعها ٣٠ سم.

طريقة إجراء الاختبار:

- توزن الكميات اللازمة من الأسمنت والركام الصغير والركام الكبير (أو المقاسات المحجوزة على المناخل منفصلة) والماء ويراعى عند حساب الوزن أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة اللازمة لملء القوالب بحوالى ١٥% وذلك لتعويض أى فقد أو هالك قد يحدث أثناء الإختبار.

- يُعد قالب الإختبار وتُغطى أوجه القالب الداخلية بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف.
- تخلط مكونات الخرسانة إما ميكانيكياً أو يدوياً خلطاً جيداً حتى يصبح لونها متجانس.
- بمجرد الإنتهاء من الخلط تُجرى إختبارات القوام (الهبوط مثلاً) وأى إختبارات أخرى تكون مطلوبة مثل إختبارات القابلية للتشغيل (عامل الدمك أو فيبى) أو إختبار تحديد نسبة الهواء فى الخلطة.
- بعد إختبارات الخرسانة الطازجة يُملأ القالب مباشرة بالخرسانة على ٣ طبقات وتدك كل طبقة إما بمكنةالإهتزاز أو يدويا حتى تدمك الخرسانة دمكاً تاماً دون حدوث إنفصال حبيبى.
- تغطى القوالب بعد صبها مباشرة وتوضع فى مكان درجة حرارته ١٥ إلى ٢٠ درجة مئوية لفترة ٢٤ ساعة ويلاحظ أن لا تتعرض لأى إهتزازات.
- تُعلم العينات الخرسانية بعد ذلك ثم تفك من القوالب وتُغمر فى الحال فى ماء نقى درجة حرارته حوالى ١٥ ـ ٢٠ درجة مئوية وتُترك حتى وقت الإختبار ويُفضل ترك مسافات بين المكعبات وبعضها فى أحواض المعالجة كما يُنصح بعدم وضع المكعبات فوق بعضها.
- تختبر العينة بوضعها بماكنة الإختبار حيث يكون محورها منطبقاً مع محور رأس الماكنة وفى حالة العينة المكعبة يلزم أن يكون وجهى العينة الملامسين لسطحى رأس الماكنه هما الوجهين المقابلين للسطح الداخلى للقالب المعدنى لضمان استوائهما وتوازيهما. أما فى حالة العينة الإسطوانية فيلزم عمل مخدة Capping لسطح كل من نهايتي الإسطوانة بطريقة تجعل سطح النهايتين مستويين ومتوازيين. شكل (١٨) يبين وضع المكعب والإسطوانة فى ماكنة الضغط. ولكل إختبار تختبرثلاث عينات وتؤخذ القيمة المتوسطة للنتائج. أما الشكل (١٩) فيوضح شكل الكسر فى عينات خرسانية مكعبة بعد إجراء إختبار الضغط عليها.
- تعرض العينة لحمل ضغط محورى بمعدل حوالى ١٤٠ كغم/سم٢/دقيقة حتى الكسر وتدون النتائج فى جدول كما يلي:

رقم العينة	التاريخ	عمر الخرسانة	وزن العينة	أبعاد العينة	مساحة الوجه	حمل الكسر	مقاومة الضغط كغم/سم٢
١ ٢ ٣	تاريخ الصب تاريخ الكسر	٧ أيام					
٤ ٥ ٦	تاريخ الصب تاريخ الكسر	٢٨ يوم					



شكل (١٨)وضع للعينات المكعبة والاسطوانية فى ماكينة الضغط .

شكل (١٩)الكسر للعينات المكعبة فى إختبار مقاومة الضغط .

٢ مقاومة الشد Tensile Strength

٢-١ العلاقة بين مقاومتى الشد والضغط

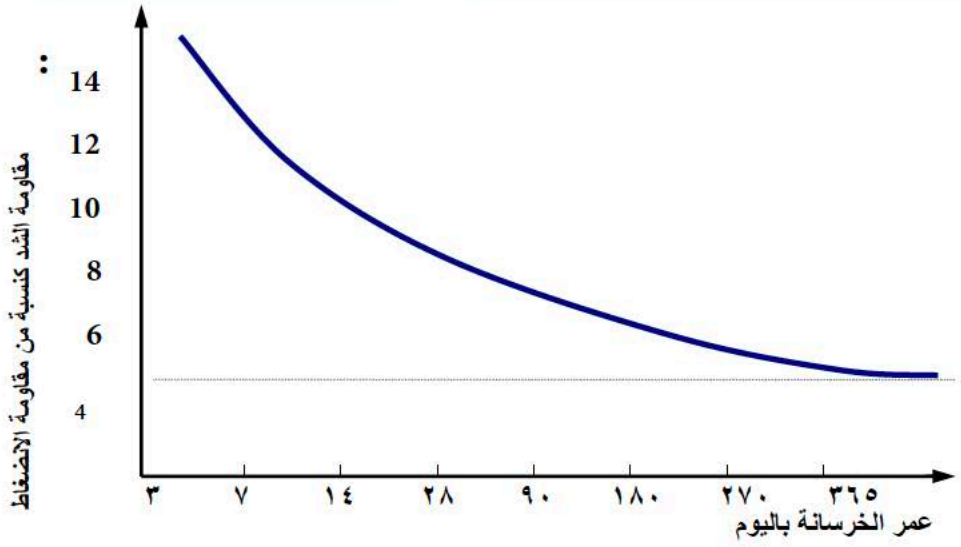
تتحمل الخرسانة العادية المتصلدة مقاومة الضغط بدرجة كبيرة ولذلك يجرى تصميم الخرسانة باعتبارها تقاوم إجهادات الضغط أساساً أما بالنسبة لمقاومتها لقوى الشد (سواء المباشر أو غير المباشر)فإنها تعتبر ضعيفة المقاومة للشد إذا ما قورنت بمقاومتها للضغط ويرجع هذا لكونها مادة قصفة ومع ذلك إهتم الباحثون بمقاومة الشد فى الخرسانة لأن حدوث معظم التشققات والشروخ فيها ناتج عن صغر مقاومتها للشد. ومقاومة الشد فى الخرسانة تتراوح ما بين ٧% إلى ١٤% من مقاومتها للضغط أى بنسبة متوسطة قدرها ١٠% وتختلف هذه النسبة تبعاً لعمر الخرسانة كما في الشكل (٢٠) وكذلك تعتمد هذه النسبة على رتبة الخرسانة كما في الشكل(٢١) ويلاحظ أنه كلما زادت مقاومة الخرسانة للضغط كلما قلت الزيادة النسبية لمقاومة الشد إلى أن تصل مقاومة الضغط إلى حوالى ٨٠٠ كغم/سم٢ عندها تصل مقاومة الشد إلى أقصى قيمة لها والتى تتراوح من ٦٠ إلى ٧٠ كغم/سم٢. ويمكن إستخدام المعادلتين التاليتين فى حساب مقاومة الشد للخرسانة:

١- للأعمار المبكرة

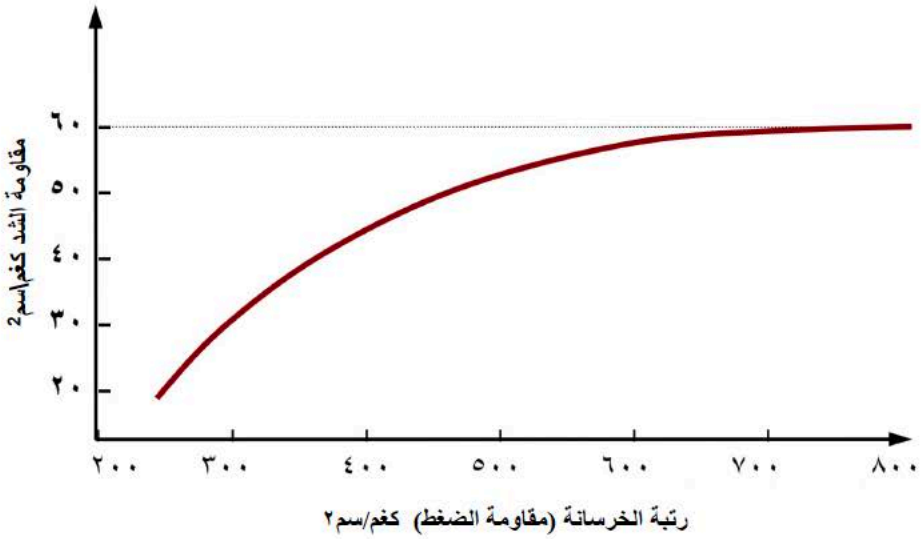
$$\frac{\text{مقاومة الشد}}{\text{مقاومة الضغط}} = \frac{١}{٨} : \frac{١}{١٢} = ١٠\%$$

٢- للأعمار المتأخرة

$$\frac{\text{مقاومة الشد}}{\text{مقاومة الضغط}} = \frac{١}{٢٠} = ٥\%$$



شكل (٢٠) اختلاف مقاومة الشد بإختلاف عمر الخرسانة .



شكل (٢١) إختلاف مقاومة الشد بإختلاف رتبة الخرسانة.

٢-٢ طرق إختبار مقاومة الشد للخرسانة

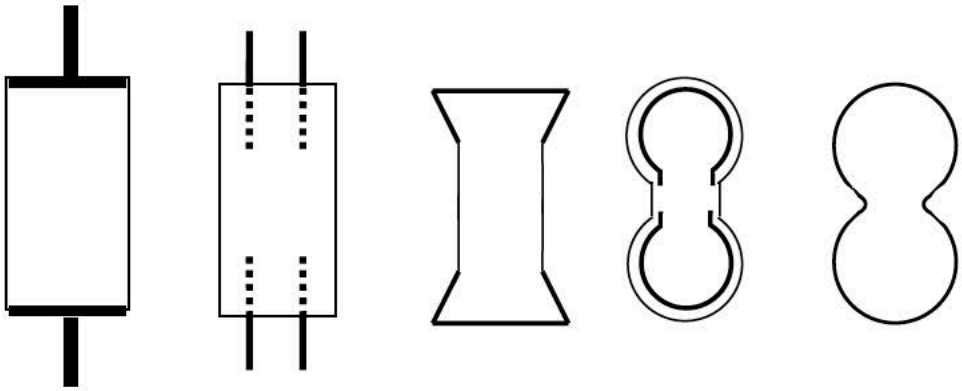
يمكن تعيين مقاومة الشد فى الخرسانة بعد ٧ أيام أو ٢٨ يوم أو أى مدة أخرى بطرق مباشرة وغير مباشرة كما يلى:

أولاً: إختبار الشد المباشر Direct Tensile Strength

تطورت أشكال العينات الخرسانية فى إختبار الشد المباشر كما هو موضح في (٢٢).

- تحضر العينات للإختبار بإجراء عمليات الخلط والصب والدمك والمعالجة بنفس الطريقة السابق ذكرها فى إختبار الضغط.
- يجرى الإختبار بمسك العينة عند نهايتيها بماكينة الإختبار والتأثير بحمل الشد تدريجيا وببطء ويعين الحمل المسبب لكسر العينة حيث تنكسر معظمها فى المنتصف وتحسب مقاومة الشد فى هذه الحالة بقسمة الحمل الأقصى على مساحة مقطع العينة.

$$\text{مقاومة الشد المباشر} = \frac{\text{الحمل الأقصى}}{\text{مساحة المقطع}} = \frac{P_{max}}{A} \quad \text{كغم/سم}^2$$



شكل(٢٢) أشكال العينات الخرسانية فى إختبار الشد المباشر.

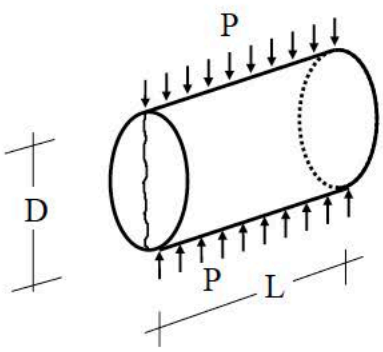
ونظراً لصعوبة إجراء إختبار الشد المباشر نتيجة الصعوبة النسبية فى صب و فك عينة الإختبار ونظراً لوجود إجهادات ضغط مركزة بين كلابات التثبيت وعينة الإختبار وكذلك إحتمال عدم مركزية حمل الشد فإنه يتم اللجوء إلى طرق غير مباشرة لقياس مقاومة الشد.

ثانياً: إختبار الشد غير المباشر (الطريقة البرازيلية) Indirect Tensile Strength

عينة الاختبار القياسية عبارة عن إسطوانة خرسانية قطرها ١٥ سم وطولها ٣٠ سم حيث توضع هذه الإسطوانة بين رأسى ماكينة الإختبار فى وضع أفقى وعلى جانبيها بين شريحتين من الخشب الأبلكاج أو المطاط بعرض ٢ سم ويعين حمل الضغط المسبب لكسر العينة وعند إنهيارها يسجل الحمل الأقصى.

$$\text{مقاومة الشد غير المباشر (البرازيلي)} = \frac{\text{٢} \times \text{الحمل الأقصى}}{\text{ط} \times \text{الطول} \times \text{القطر}} \quad \text{كغم/سم}^{\text{٢}}$$

$$\text{مقاومة الشد} = \frac{P\ 2}{\pi DL} \quad \text{كغم/سم}^{\text{٢}}$$



شكل (٢٣) اسطوانة الشد.

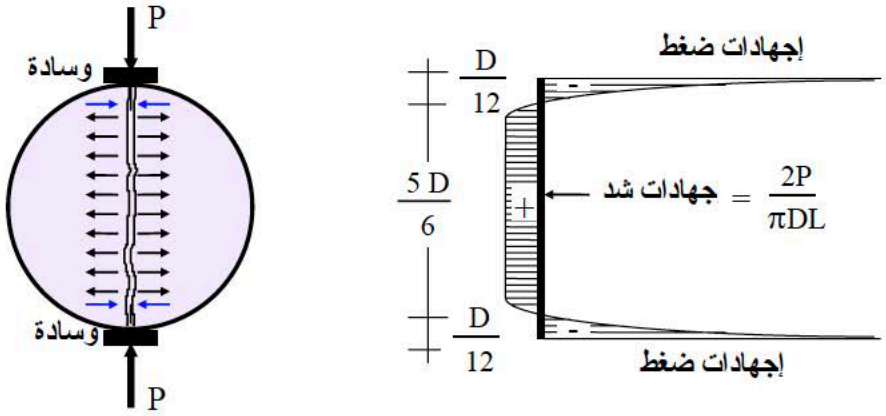
حيث:

P = الحمل الأقصى .....كغم

D = قطر الإسطوانة ..... سم

L = طول الإسطوانة ..... سم

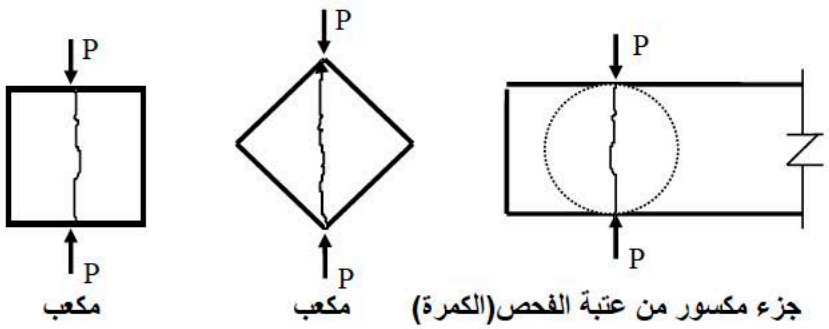
ويكون المستوى الرأسى للإنهيار هو مستوى إجهادات الشد الرئيسية حيث تكون موزعة على ٨٠% من طوله وفى نفس الوقت توجد إجهادات ضغط تتراوح قيمتها من ١٦ إلى ١٨ مرة قدر إجهادات الشد وذلك فى المنطقتين تحت تأثير الحمل مباشرة (فى طرفى مستوى الإنهيار). ويتميز إختبار الشد غير المباشر بسهولة الإجراء وكذلك لوجود إجهادات الشد بقيمة ثابتة و منتظمة على حوالى ٦٠% من طول مستوى الإنهيار كما في الشكل (٢٤). وعموماً تؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساوية لـ ٨٥% من قيمة مقاومة الشد البرازيلي.



شكل (٢٤) توزيع الإجهادات فى عينة الشد البرازيلى.

ويمكن إجراء الإختبار على عينات بشكل منشور أو مكعب أو جزء من كمرة كما في الشكل (٢٥). وفى هذه الحالة يجب تصحيح قيمة المقاومة بضربها فى عامل k يتوقف على تغير أبعاد العينة ويعين معمليا.

$$\text{مقاومة الشد البرازيلي} = \frac{P\ 2}{\pi DL} k \quad \text{كغم /سم}^2 .$$



شكل (٢٥) إمكانية إجراء إختبار الشد البرازيلى على عينات مختلفة.

وعموماً فإن الكود التصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية قد أعطى بعض القيم الإسترشادية جدول(٥) للعلاقة بين مقاومة الشد فى الأعمار المختلفة ومقاومة الشد بعد ٢٨ يوم وذلك فى حالة الخرسانة المصنوعة فى الظروف العادية والغير محتوية على إضافات.

جدول (٥) قيم إسترشادية لنسبة مقاومة الشد فى أعمار مختلفة.

عمر الخرسانة (يوم)	٣	٧	٢٨	٩٠	٣٦٥
أسمنت بورتلاندى عادى	٠,٥	٠,٧١	١	١,٠٥	١,٠٥
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	٣/٢	٦/٥	١	١,٠٥	١,٠٥

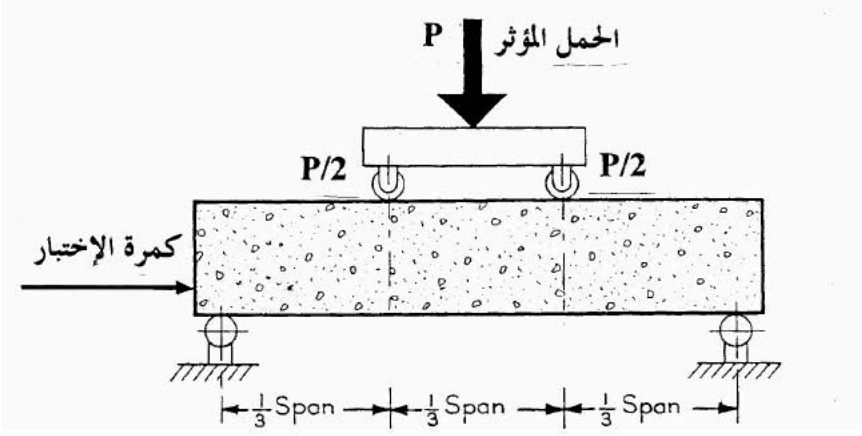
٣ - مقاومـة الاثناء Bending Strength

عندما تتعرض كمرة خرسانية للإنحناء فإنه يمكن حساب مقاومة الإنحناء (التى تعتبر أيضاً مقياساً لمقاومة الشد غير المباشر) وتسمى معاير الكسر فى الإنحناء Modulus of Rupture وتتراوح قيم إجهادات معاير الكسر فى الإنحناء بين ١٢% - ٢٠% من مقاومة الضغط. وبالتالى فإن مقاومة الإنحناء تزيد عن مقاومة الشد للخرسانة بنسبة من ٦٠ إلى ١٠٠%. وعموماً تؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساوية لـ ٦٠% من قيمة مقاومة الإنحناء. ومن ذلك يتضح أن مقاومة الإنحناء تزيد عن مقاومة الشد البرازيلى بحوالى ٤٠%. ويجرى إختبار الإنحناء لتعيين مقاومة الخرسانة المتصلدة للإنحناء ودراسة سلوك الكمرات الخرسانية عند تعرضها لأحمال إنحناء وكذلك شكل الكسر الناتج عن إنهيار هذه الكمرات.

طريقة إجراء الإختبار :

توضع الخرسانة فى قوالب على شكل كمرات أبعادها الداخلية ١٥×١٥×٧٠سم أو ١٠×١٠×٥٠ سم وذلك للركام الذى لا يزيد مقاسه الإعتبارى الأكبر عن ٢٠ مم. تخلط الخرسانة وتملأ القوالب وتدمك وتعالج بنفس الطريقة المتبعة فى الضغط ويعمل من نفس الخلطة الخرسانية عينات ضغط لإعطاء فكرة عن العلاقة بين الضغط والإنحناء.

توضع الكمرة فى ماكنة الإختبار على ركيزتين كما هو مبين في الشكل (٢٨) ويراعى أن يكون كل من قضيب الإرتكاز والتحميل بطول أكبر من عرض الكمرة كما يكون التحميل تدريجيا وبمعدل منتظم يؤدى إلى الوصول بالقيمة النهائية للحمل فى مدة حوالى ٥ دقائق.



شكل (٢٦) شكل الكمرة فى إختبار الانحناء.

ويفضل إجراء اختبار الانحناء للخرسانة بتحميل عينة الإختبار فى نقطتين Two-Point Loading لأن ذلك يجعل جزء الكمرة الذى يحدث بداخله الكسر معرض إلى عزم خالص Pure Bending دون تواجد قص فى ذلك الجزء الأمر الذى يجعل الكسر نتيجة مقاومة الإنحناء فقط وتعبر نتائج الإختبار عن مدى تأثر الخرسانة بالإنحناء. ويمكن فىبعض الأحيان -عند الضرورة- عمل إختبار الإنحناء بالتحميل فى نقطة واحدة وهى منتصف الكمرة المختبرة ولايعطى ذلك الإختبار إنحناء خالص بل إنحناء مصحوب بتأثير القص ويكون معاير الكسر له أقل من معاير الكسر فى حالة التحميل فى نقطتين.

يدون حمل الكسر P_{max} وتحسب مقاومة الإنحناء (معاير الكسر) من المعادلة:

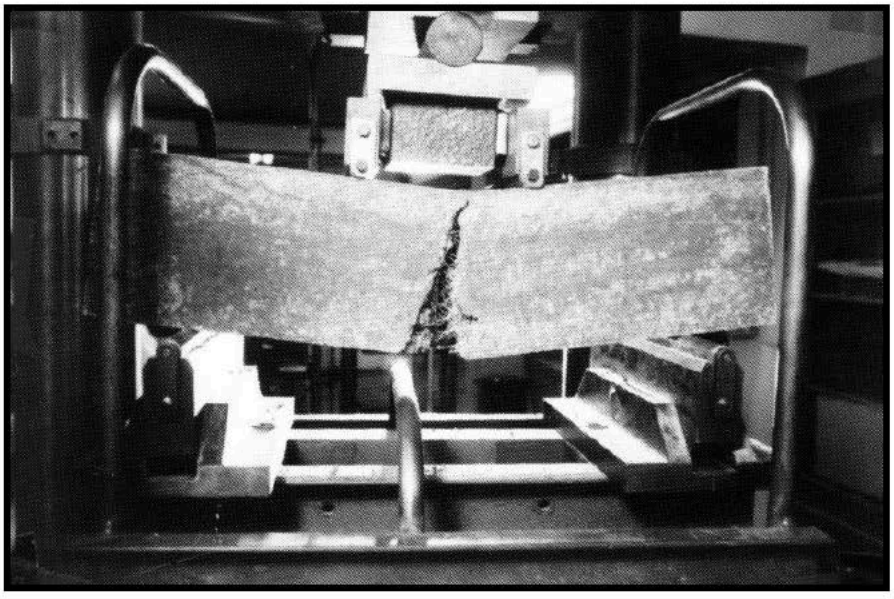
$$f_b = \frac{M_{max} \cdot Y}{I}$$

M_{max} = Maximum bending moment = P_{max} L / 6 (حالة حملين مركزين)

Y = h/2 ,

I = Moment of inertia = $bh^3/12$

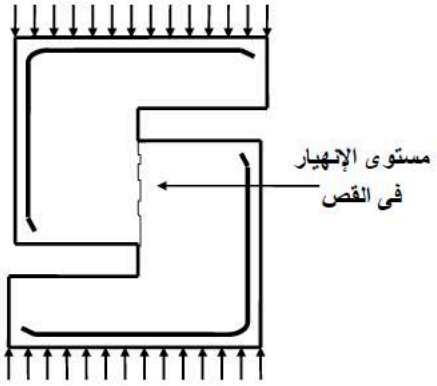
ويبين الشكل (٢٨) الكسر فى عتبة او كمرة خرسانية معرضة لحملين مركزين.



شكل (٢٧) شكل الكسر لكمرة فى إختبار الانحناء .

٤-مقاومـة القص Shear Strength

لا يمكن تعيين مقاومة القص فى حالة الخرسانة بقيمة صحيحة تماماً نظراً لأن قوى القص المباشرة) قوتين متساويتين ومتوازيتين تؤثران على مستويين على مسافة صغيرة جداً من بعضهما(تكون دائما مصحوبة بعزم إنحناء أي باجهادات شد وضغط لذلك فمن النادر إجراء إختبار مقاومة القص المباشر للخرسانة وخصوصاً أنه فى إستعمالات الخرسانة نادراً ما تتعرض للقص الخالص وإنما تتعرض للقص المصحوب بانحناء ويمكن إجراء إختبار تحديد مقاومة القص المباشر للخرسانة كما هو مبين في الشكل (٢٨) وهو إختبار غير دقيق النتائج. ويكون تعريض عينات الخرسانة لتأثير القص الخالص أحياناً باجراء إختبار الإلتواء Torsion على عينة خرسانية غالباً ما تكون إسطوانية وذلك لأن الإلتواء يعطي إجهادات قص خالصة. ولكن هذا الإختبار من الصعب إجراؤه بدقة كما أن كسر العنصر الخرسانى يكون غالباً نتيجة تأثير الشد القطرى Diagonal Tensionوليس بتأثير القص نظراً لأن الخرسانة ضعيفة فى الشد عنها فى القص . ولقد وجد أن مقاومة القص فى الخرسانة أكبر من مقاومتها للشد بحوالى٢٠ إلى ٣٠% أى أنها حوالى١٠ إلى١٢ % من مقاومة الضغط. أما إذا أجرى إختبار الإنحناء لبيان تأثير القص المصاحب لعزم الإنحناء وذلك بتقوية الكمرة او العتبة المختبرة من جهة الشد بحديد تسليح لمنع الإنهيار بالشد الناتج من الإنحناء فإن القص المصاحب لعزم الإنحناء يضهر تأثيره بكسر العينة بواسطة إجهادات الشد القطرى الناتج من القص وليس بتاثير القص المباشر كما فى الشكل (٢٩). يتبين مما تقدم أن مقاومة الخرسانة للشد القطرى تعبر عن مدى مقاومة الخرسانة للقص لذلك لا يجرى إختبار القص للخرسانة إكتفاء بتعيين مقاومة الشد لها



شكل (٢٨) شكل عينة إختبار خرسانية فى القص.

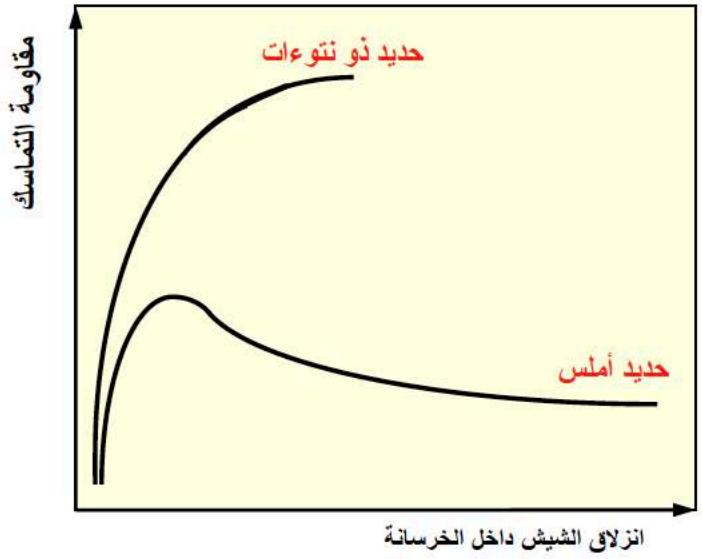
شكل (٢٩) انهيار قص (شد قطرى) فى كمرة او عتبة من الخرسانة المسلحة بدون اتاري.

٥ _ مقاومة التماسك Bond Strength

مقاومة التماسك هي مقاومة الخرسانة لإنزلاق سيخ او شيش التسليح الملتصق بها والموجود بداخلها ويعتبر تماسك أسياخ او شيش الحديد مع الخرسانة هو أساس فكرة التصميم الإنشائى للأعضاء الإنشائية من الخرسانة المسلحة ويتم هذا التماسك بواسطة:

- الإلتصاق مع الخرسانة Adhesion
- قوى الإحتكاك بين الشيش والخرسانة Friction
- التحميل على النتوءات البارزة فى الشيش Bearing

وتعتمد مقاومة التماسك على كل من خواص الخرسانة وخواص الحديد وكذلك على مساحة التلامس بينهما. ومن البديهي أن تكون مقاومة التماسك أكبر فى حالة الأسياخ ذات النتوءات عنها فى حالة الأسياخ الملساء (شكل ٣٠). وتتراوح مقاومة التماسك من ٢٥ إلى ٤٥ كغم/سم^2 وذلك فى حالة الخرسانة ذات المقاومة العادية (٢٥٠ كغم/سم^2) أما فى حالة الخرسانة عالية المقاومة فإن مقاومة التماسك قد تصل إلى ٨٠ كغم/سم^2 أو أكثر. ويجرى إختبارتعيين مقاومة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح وذلك بتحديد الحمل المسبب لإنهيار وإنزلاق سيخ حديد التسليح داخل الخرسانة. وتوجد إختبارات عديدة لتعيين مقاومة التماسك تختلف عن بعضها فى كيفية تحميل سيخ او شيش حديد التسليح. وفيما يلي عرض سريع لبعض هذه الإختبارات.



شكل (٣٠) مقاومة التماسك بين الحديد والخرسانة.

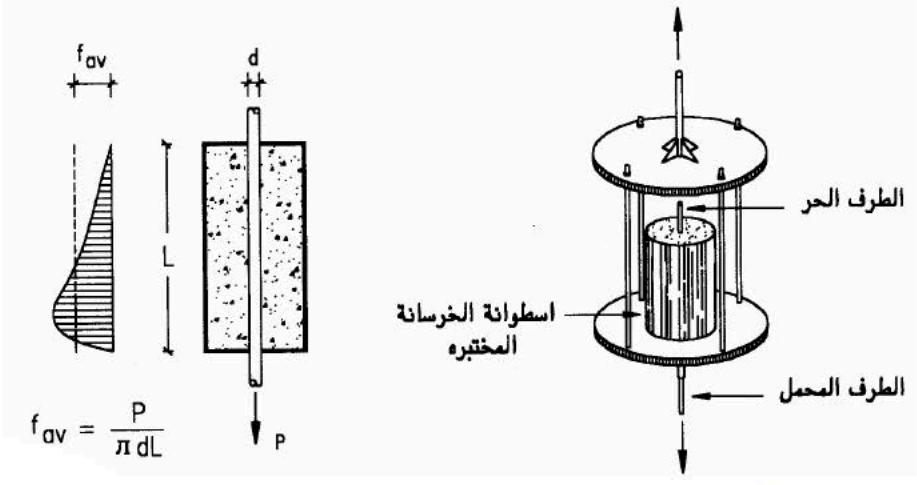
أ - اختبار الاقتلاع (الشد) Pull Out Test

- تُصب عينة الإختبار من الخرسانة على هيئة إسطوانة أو منشور على أن يكون فى محورها سيخ حديد تسليح بالقطر المعين المراد إختبار تماسكه.
- يُجرى معالجة العينة للمدة المناسبة المطلوبة وغالباً تكون ٢٨ يوما.
- تُوضع العينة بماكنة الإختبار بالطريقة التى تجعل الشيش او السيخ معرضا للشد من أحد طرفيه فقط وذلك لإقتلاعه من الخرسانة كما هو موضح بالشكل (٣١) وعلى ذلك يكون لشيش الحديد طرف محمل وطرف آخر حر.
- يُركب جهاز قياس التشكل على سيخ التسليح من ناحية الطرف المحمل أو الطرف الحر أو من الناحيتين معاً وذلك لقياس الحركة النسبية بين الحديد والخرسانة.
- يُشد سيخ حديد التسليح من الطرف المحمل تدريجيا فيحدث إنزلاق Slip للطرف المحمل ويتبين ذلك بحركة نسبية بينه وبين الخرسانة يبينها جهاز قياس التشكل وتسجل قراءات الحمل والإنزلاق للطرف الآخر المحمل.
- تلاحظ قراءات جهاز قياس التشكل عند الطرف الحر حيث لا يبين الجهاز أى قراءة إلا عند تمام إنهيارتماسك السيخ مع الخرسانة وعندما يبدأ مؤشر الطرف الحر فى التحرك أى عندما يحدث أول إنزلاق للطرف الحر Initial Slip يسجل الحمل المسبب لذلك.
- تحدد من قراءات الحمل والإنزلاق للطرف المحمل قيمة الحمل المسبب لإنزلاق قيمته ٠,٢٥ مم.
- يعتبر التماسك بين الحديد والخرسانة فىحالة إنهيار فى إحدى الحالتين:

  إما حدوث أول إنزلاق للطرف الحر أو حدوث إنزلاق قيمته ٠,٢٥ مم للطرف المحمل.

وعلى ذلك تحسب مقاومة التماسك أنها الحمل المسبب للإنزلاق مقسوماً على مساحة السيخ المتماسكة مع الخرسانة أى:

$$\text{مقاومة التماسك} = \frac{P}{\pi\, d\, L} \quad \text{كغم/سم}^2.$$



شكل (٣١) قياس مقاومة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح.

ب- إختبار الدفع (الضغط) Push Out Test

يجرى الإختبار بنفس الطريقة السابقة لإختبار الإقتلاع لكن يكون تحميل حديد التسليح بالضغط بدلًا من الشد كما فى الشكل (٣٢). ولهذا الإختبار ميزة سهولة الإجراء إلا أنه يعطي مقاومة عالية للتماسك نظراً لأن كلا من الحديد والخرسانة فى حالة ضغط.

ج- إختبار السيخ المدفون Embedded Rod Test

يجرى الاختبار بتعريض السيخ المدفون فى عينة الإختبار والبارز من كل من نهايتيها إلى حمل الشد من كل من طرفية ثم قياس الحركة النسبية بين حديد التسليح والخرسانة عند كل من نهايتي العينة باستخدام جهاز قياس التشكل (شكل ٣٣). ويعتبر الحمل المسبب لإنهيار التماسك هو الحمل الذى يحدث تغيير مفاجئ فى قيمة الحركة النسبية بين حديد التسليح والخرسانة. وتحسب مقاومة التماسك من المعادلة المذكورة سابقا وهذا الإختبار وإن كان يمثل الحالة الواقعية الفعلية لحديد التسليح داخل الخرسانة إلا أن من عيوبه صعوبة إمكان مقارنة نتائجة.

د- إختبار الإلتواء للسيخ Torsion Test

يجرى هذا الاختبار بتعريض سيخ حديد التسليح الموجود فى محور العينة المختبرة إلى عزم إلتواء(M_t) بعد تثبيت العينة فى مكنة الإختبار وزيادة التحميل (شكل ٣٤). وتسجل قيمة زاوية الإلتواء المصاحبة لكل عزم إلتواء لحديد التسليح بالنسبة للخرسانة الموجودة عند الطرف المحمل والطرف الحر لحديد التسليح ثم يبين عزم الإلتواء الذى يحدث عنده الإنزلاق ثم تحسب مقاومة التماسك من المعادلة:

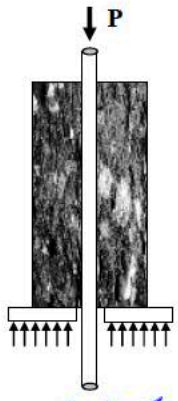
$$\text{مقاومة التماسك} = \frac{2\,M_t}{\pi\,d^2\,L}$$

حيث d = قطر السيخ

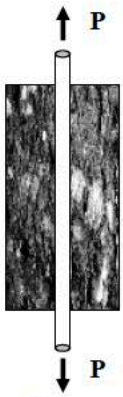
M_t = عزم الألتواء عند الإنزلاق

L = الطول المدفون من السيخ فى الخرسانة.

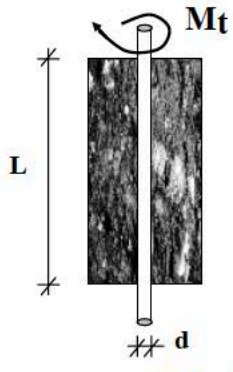
وهذا الاختبار محدود جداً ونادر إجرائه.



شكل (٣٢) الدفع



شكل (٣٣) السيخ المدفون



شكل (٣٤) الإلتواء.

هـ- اختبار الكمرة Beam Test

يجرى هذا الاختبار بتحميل كمرة خرسانية بها أسياخ تسليح فى ناحية الشد بحمل فى منتصفها أو بحمل فىنقطتين وزيادة التحميل تدريجيا كما فى شكل (٨-٣٥) فيحدث ذلك إنهيار التماسك فى المنتصف عند حمل معين ويزحف ذلك الإنهيار على طول السيخ على جانبية حتى طرفيه بإزدياد التحميل وتقاس الحركة النسبية بين حديد التسليح والخرسانة عند أى مقطع من مقاطع الكمرة ثم تحسب مقاومة التماسك عند أى مقطع على أساس الحمل المسبب لحدوث أول إنزلاق Slipبين الخرسانة وحديد التسليح عند هذا المقطع وذلك من المعادلة :

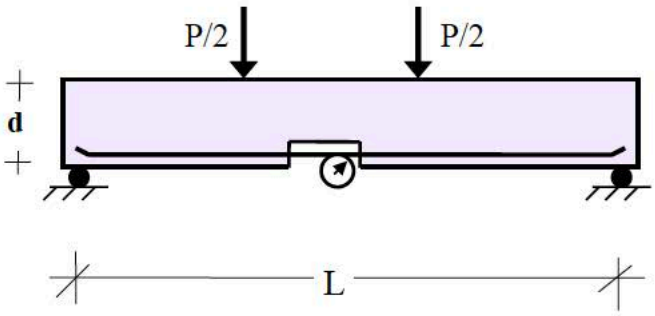
$$\text{مقاومة التماسك} = \frac{V}{Y_{ct} \sum \phi}$$

حيث V = قوة القص عند المقطع المستعرض

Y_{ct} = العمق الفعال للكمرة = $0.87\ d$

$\sum \phi$ = مجموع محيط أسياخ حديد التسليح

وهذا الإختبار يمثل تماماً حالة التماسك بين حديد التسليح والخرسانة ويمكن إستخدام نتائجه مباشرة فىالتصميم إلا أنه أكثر تكلفة علاوة على صعوبة إجرائه. ويراعى تعرية الجزء الأوسط من أسفل للكمرة حتى يمكن قياس الإنزلاق بين الحديد والخرسانة.



شكل (٣٥) إختبار الكمرة لتعيين مقاومة التماسك بين الحديد والخرسانة.