الباب الثاني

الدراسة النظرية

الفصل الرابع أختبارات الخرسانة المتصلبة

1.4.2 : المقدمة

تعد اختبارات الخرسانة المتصلبة من اهم المتطلبات الاساسية في تقييم سلامة أي مشروع هندسي ويتم ذلك على نماذج عينات معملية او على عناصر انشائية في الموقع باستخدام طرق اختبارات عديدة مقسمة حسب درجة تلف العنصر الانشائي واهم اهدافها هي :

1. لبيان مطابقة المواد الانشائية الداخلة في تصميم الخلطة الخرسانية.
2. بيان مدى التشتت في خواص الخرسانة واثر الظروف المعاكسة على الخواص.
3. لدفع العمال الى اتقان العمل.
4. ايجاد الحلول لأي مشاكل انشائية تظهر مستقبلا".
5. متابعة التنفيذ وتحديد زمن فك القوالب والشدات.
6. تخمين نوعية الخرسانة في الابنية والمنشأت المشيدة والابنية قيد الانشاء .

2.4.2 : تصنيف اختبارات الخرسانة المتصلبة

تقسم اختبارات الخرسانة المتصلبة الى التصنيفات التالية :-(علي عبد الحسين،2008)

اولا": تصنيف حسب درجة التلف للعنصر المطلوب اختباره ويقسم الى:-

1. اختبارات اتلافية للعنصر الخرساني.
2. اختبارات غير اتلافية للعنصر الخرساني.
3. اختبارات شبه اتلافية للعنصر الخرساني .

ثانيا": تقسيم حسب موقع الاختبار ويقسم الى:-

1. اختبارات معملية :تجري على نماذج مصبوبة من الخرسانة قبل الاستعمال في معامل ومختبرات الخرسانة وهي عادة ما تكون اختبارات اتلافية .
2. اختبارات موقعية :تجري على الخرسانة في المنشاءات المشيدة او المنشاءات قيد التشيد وهي غالبا ماتكون اختبارات غير اتلافية او اختبارات شبه اتلافية .

3.4.2 : الاختبارات الاتلافية Destructive Tests

يمكن تعريف الاختبارات الاتلافية للخرسانة هي الاختبارات التي يتم اجرئها على نماذج وعناصر خرسانية مسببة تلف كامل بالعينة لغرض معرفة خواص الخرسانة كاختبارت مقاومة الانضغاط ومقاومة الشد و مقاومة الانحناء ومقاومة القص والتماسك مع حديد التسليح وغيرها من الاختبارات .

1.3.4.2 : اختبار مقاومة الانضغاط Compressive Strength Test (Crushing)

يختص هذا الاختبار بتحديد اجهاد الضغط للخرسانة المتصلبة ،وعادة يجري الاختبار هذا بعد مرور (28) يوما وفي بعض الاحيان بعد سبعة ايام او ثلاثة عشر اسبوعا او سنة اذا ما اوصى بذلك، وتعتبرمقاومة الانضغاط من اهم خواص الخرسانة وتعبر عن جودة انتاج الخرسانة بالموقع ، ويستخدم في التصميم الانشائي لتحديد اجهاد التشغيل للخرسانة ويؤخذ كنسبة مئوية من المقاومة القصوى للضغط المعينة معمليا ،كما يفيد الاختبار في تحديد صلاحية الركام والتعرف على الشوائب التي يحويها وتأثيرها على مقاومة الانضغاط.(العريان وأخرون، 1975)

- الاجهزة والعدد

1. قوالب الاختبار وتكون حسب المواصفات الامريكية اسطوانية بقطر (15) سم وبارتفاع (30) سم او بقطر(10) سم و ارتفاع (20) سم ، اما بالنسبة للمواصفات البريطانية فتكون مكعبة بطول ضلع (15) سم او (10) سم ، و تصنع القوالب من معدن متين (الصلب او الزهر) ويتحمل الصدم وبسمك كاف لمنع الالتواء والانبعاج .
2. قضيب الدمك ويصنع من الصلب ويزن 4 باوند(1.818كغم) وبطول 15 بوصة (38.1سم) ومقطعه السفلي مربع طول ضلعة بوصة واحدة (2.54)سم.
3. ماكنة الضغط كما في الشكل (2-4-1) ذات سعة وحساسية ملائمة ويمكن التحكم في معدل التحميل بها طبقا لما تطلبه المواصفات القياسيه للاختبار .

الشكل(2-4-1) جهاز ماكنة الضغط

- **النتائج**

تحسب مقاومة الانضغاط بقسمة الحمل المسلط المسبب للفشل الى مساحة المعرض للحمل كما في المعادلة (2-4-1) ويؤخذ المـعدل له. (B.S. EN12390-1،3 ، ASTM C39-05)،(امام، 2002).

$$f_{cu} = \frac{P}{A} \qquad 1-4-2$$

حيث ان:

f_{cu}= مقاومة الانضغاط N/mm^2 (MPa)

P = الحمل المسلط عند الفشل N

A= المساحة المعرضة للحمل mm^2

2.3.4.2 : اختبار مقاومة الشد Tensile Strength Test

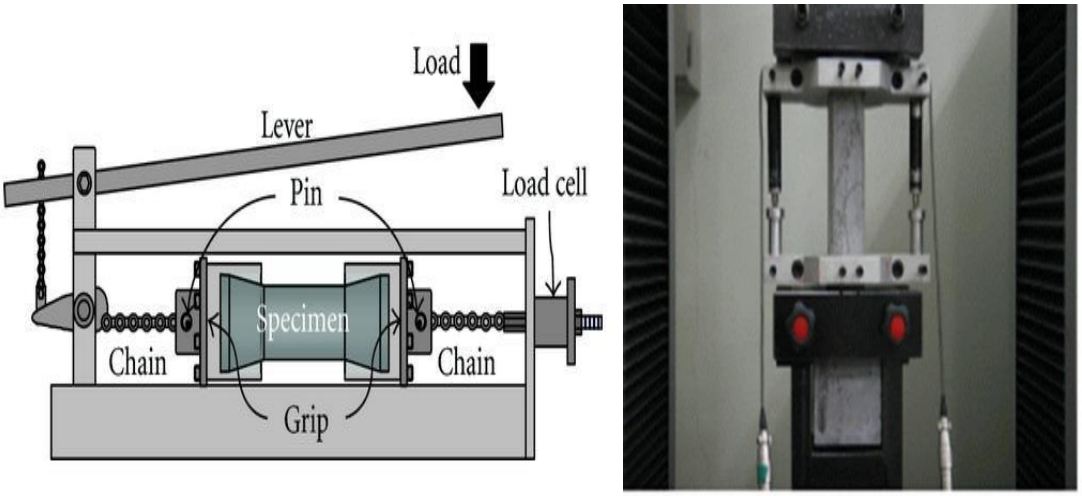
يختص هذا الاختبار بتعيين اجهاد الشد للخرسانة المتصلبة للمدة المطلوبة(3، 7 و28) يوم او اي مدة اخرى ، و تعتبر الخرسانة ضعيفة جدا لمقاومة الشد مقارنة بمقاومة الانضغاط ويرجع هذا لكون الخرسانة مادة قاصفة ، وتتراوح مقاومة الشد بين(7-14)% من مقاومة الانضغاط وتعتمد هذه النسبةعلى رتبة الخرسانة ويلاحظ انه كلما زادت مقاومة الضغط كلما قلت الزيادة النسبية لمقاومة الشد الى ان تصل مقاومة الضغط (800) كغم /سم2 عندها تصل مقاومة الشد الى اقصى قيمة لها (60- 70)كغم /سم2 ويقسم طرق اختبار مقاومة الشد للخرسانة الى طريقتين وكما يلي:-

اولا: طريقة اختبار الشد المباشر Direct Tensile Strength

يكون كسر العينة ناتجا من تأثير الشد المؤثر به من ماكنة الاختبار مباشرة على العينة .بعد تحضير العينة حسب الاشكال المحددة للاختبار وبعد اجراء عمليات الصب والخلط والدمك والمعالجة السابق ذكرها باختبار مقاومة الضغط ،نجري الاختبار بمسك العينة عند نهايتها بماكنة الاختبار والتأثير بحمل الشد تدريجيا وببطء ويعين الحمل المسبب لكسر العينة ،حيث تتكسر معظمها في المنتصف والشكل (2-4-2) يبين الية الاختبار، وتحسب مقاومة الشد من المعادلة (2-4-2) لكن تعتبر هذه الطريقة صعبة من حيث صب وفك العينة الاختبار ووجود اجهادات ضغط مركزة بين كلابات التثبيت وعينة الاختبار واحتمال عدم مركزية حمل الشد فيتم اللجوء الى الطرق غير مباشرة لقياس مقاومة الشد. (امام، 2002)

$$f_t = \frac{P_{max}}{A} \qquad 2-4-2$$

f_t = مقاومة الشد(N/mm^2) ، P_{max}= الحمل الاقصى (N) ، A= مساحة المقطع (mm^2)



الشكل (2-4-2) الية اختبار الشد المباشر

ثانيا: طريقة الشد غير المباشر (الطريقة البرازيلية) Indirect Tensile Strength

يسمى ايضا" شد الانشطار (Splitting test) يكون كسر العينة ناتجة من تأثير الشد الجانبي المصاحب لحمل الضغط المؤثر به من ماكنة الاختبار على العينة والذي يكون بزيادة نسبية (0.04 – 0.06) MPa بالثانية . وتكون عينة الاختبار اسطوانية بقطر(15) سم وطول (30) سم وتوضع بين رأسي ماكنة الاختبار في وضع افقي وعلى جانبيها بين شريحتين من الخشب او المطاط بعرض 2سم كما في الشكل (2-4-1) الية الشد غير المباشروتؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساوية الى(85 %) من قيمة الشد البرازيلي وبينت ذلك في المواصفات القياسية البريطانية(BS EN12390-06) و المواصفات الامريكية (ASTM C 496-04) و تحسب مقاومة الشد غير المباشر من المعادلة (2-4-3) . (Neville ,2010)

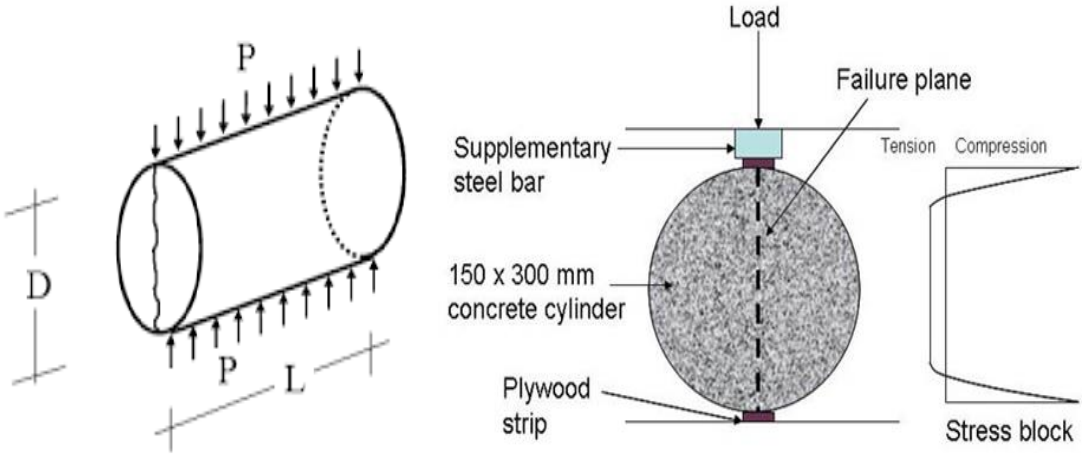
$$f_t = \frac{2P}{\pi DL} \qquad 3-4-2$$

f_t= مقاومة الشد البرازيلي (N/mm^2)

P= الحمل الاقصى(N)

L= طول الاسطوانة (mm)

D= قطر الاسطوانة (mm)



الشكل (2-4-3) الية الشد غير المباشر

3.2.4.2 : اختبار مقاومة الانحناء Flexural strength test

يختص الاختبار بتعيين مقاومة الخرسانة المتصلدة للانحناء ودراسة سلوك الكمرات (العتبات)الخرسانية عند تعرضها الى احمال انحناء وبيان شكل الكسر الناتج عن انهيار هذه الكمرات نتيجة التحميل كما في الشكل (2-4-4) ويعبر عن مقاومة الانحناء بمعاير الكسر Modulus of rupture والذي يحسب من معادلة الانحناء(2-4-1) التالية:(العريان وأخرون، 1975)

$$f_b = \frac{M_{max} \cdot Y}{I} \qquad 4-4-2$$

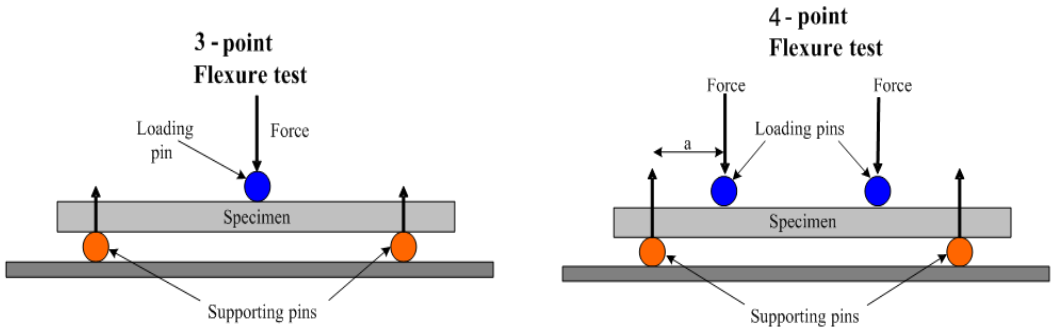
f_b= مقاومة الانحناء باسكال

M_{max} = هو اكثر عزم تتعرض له العينة المختبرة والمقابل لحمل الكسر P_{max}

Y = بعد النقطة الطرفية للمقطع المستعرض عن محور التعادل Neutral Axis

I = عزم القصور الذاتي للمقطع المستعرض حول محور التعادل

تتراوح قيم اجهادات معاير الكسر في الانحناء بين(12- 20)% من قيمة مقاومة الانضغاط بالتالي فانها تزيد عن مقاومة الشد بنسبة (60- 100)% وتؤخذ مقاومة الشد للخرسانة بنسبة 60% من مقاومة الانحناء ،ومقاومة الانحناء تزيد عن مقاومة الشد البرازيلي بحوالي 40%.ويكون الاختبار حسب التحميل كما في الشكل(3-4) يكون التحميل في نقطة واحدة او في نقطتين ، و يفضل الاختبار في نقطتين (Two point loading) لان ذلك يجعل جزء الكمرة الذي يحدث بداخله الكسر معرض الى عزم خالص دون تواجد قص في ذك الجزء الامر الذي يجعل الكسر نتيجة الانحناء فقط دون القص كما في التحميل لنقطة واحدة ويكون معاير الكسر اقل من التحميل لنقطتين (امام، 2002).



تحميل في نقطة واحدة تحميل في نقطتين

الشكل(2-4-4) شكل الكمرة في اختبار الانحناء

- طريقة اجراء الاختبار

1. توضع الخرسانة في قوالب بابعاد (15×15×70) او (10×10×50) سم حسب المقاس الاكبر الاكبر بعد املاء القوالب والدمك والمعالجة وبنفس طريقة مقاومة الانضغاط ومن نفس عينات مقاومة الانضغاط لاعطاء فكرة عن العلاقة بينهما.
2. توضع الكمرة في ماكنة الاختبار على ركيزتين ويجب ان يكون قضيب الارتكاز والتحميل بطول اكبر من عرض الكمرة ويكون التحميل تدريجيا" وبمعدل منتظم يؤدي للوصول الى القيمةالنهائية للحمل في مدة 5 دقائق .

4.2.4.2 : اختبار مقاومة القص Shear Strength Test

لا يمكن تعيين مقاومة القص الخالصة للخرسانة بقيمة صحيحة تماما نظرا" لأن قوى القص المباشرة (قوتين متساويتين ومتوازيتين وتؤثران على مستويين على مسافة قصيرة جدا من بعضهما) وتكون دائما مصحوبة بعزم انحناء اي باجهادات شد وضغط لذلك من النادر اجراء اختبار مقاومة القص المباشر للخرسانة وخصوصا" انه في استعمالات الخرسانة نادرا ما تتعرض للقص الخالص وانما تتعرض الى القص المصحوب بانحناء،ويمكن اجراء اختبار القص المباشر للخرسانة وهو اختبار غير دقيق النتائج و يكون تعريض عينات الخرسانة لتأثير القص الخالص احيانا باجراء اختبار الالتواء Torshion test على عينات خرسانية غالبا ما تكون اسطوانية الشكل وذلك لان الالتواء يعطي اجهادات قص خالصة ولكن من الصعب إجرائه بدقة كما ان كسر العنصر الخرساني يكون غالبا"نتيجة تأثير الشد القطري وليس بتأثير القص لضعف الخرسانة بالشد عنها في القص اما اذا اجرى اختبار الانحناء لبيان تأثير القص المصاحب لعزم الانحناء وذلك بتقوية الكمرة المختبرة من الشد بحديد تسليح لمنع الانهيار بالشد الناتج من الانحناء فأن القص المصاحب لعزم الانحناء يظهر تاثيره بكسر العينة بواسطة اجهادات الشد القطري الناتج من القص وليس بتاثير القص المباشر كما في الشكل(2-4-5) ، و وجد ان مقاومة القص في الخرسانة اكبر من مقاومتها للشد بحوالي(20-30)% اي انها حوالي (10-12)% من مقاومة الانضغاط . (امام، 2002)،(العريان وأخرون، 1975).

الشكل (2-4-5)انهيار قص(شد قطري) في كمرة من الخرسانة المسلحة بدون كانات (امام،2002)

4.4.2 : الاختبارات غير الاتلافية Non- Destructive Testing

تهدف الاختبارات غير الاتلافية للخرسانة الى اختبار العضو الخرساني لبيان بعض خواص الخرسانة المتصلبة دون حدوث اي تلف او انهيار به وبيان مدى جودة وتجانس الخرسانة وتتم طرق الاختبارات بانواع مختلفة و باستخدام اجهزة متنوعة ويمكن من هذه الاختبارات تعيين كلا من مقاومة الانضغاط والكثافة ومدى تواجد الفراعات وتحديد الرطوبة والكشف عن تواجد الشروخ الداخلية والفجوات و اماكن حديد التسليح ومعاير المرونة وصلادة السطح وتعتبر الاختبارات غير اتلافية من اهم الاختبارات التي تساعد الانشائي في اعداد

التقارير الهندسية لبيان حالة المبنى عند وجود مشاكل كالتشققات والتصدعات وغيرها، ويمكن تقسيم الاختبارات غير اتلافية تبعا الى نظرية اجرائها الى اهتزازية و ميكانيكة سطحية وكهربائية مغناطيسية و نووية وغيرها من الطرق.(العريان وأخرون، 1975) ، (صلال راشد ،2010).

1.4.4.2 : اختبارات اهتزازية (اختبار سرعة الموجات فوق الصوتية)

الاختبارات الاهتزازية منها المعتمدة على الرنين والتي تستخدم مختبريا لأيجاد الخواص الديناميكية مثل معامل المرونة الديناميكي ونسبة بواسون الديناميكية ، ومنها اختبارات غير معتمدة على الرنين واهمها اختبار سرعة الموجات فوق الصوتية (Ultra–Sonic Pulse Velocity) والذي يرمز له(UPV).(صلال راشد ،2010).

تكون الامواج فوق الصوتية ذات تردد عالي اكثر من 20 كيلو هيرتز ويتراوح تردد هذه الامواج بين (20 كيلو هيرتز – 30 ميكا هيرتز) وضمن هذه الحدود تمتلك الامواج فوق الصوتية الى حد ما سلوك الامواج الكهرومغناطيسية او الامواج الضوئية عدا انها لا تتمكن من الانتقال بالفراغ ، وتنتقل الامواج في كتلة مادة غير محددة الابعاد بشكلين وكما يلي:–

1. امواج طولية او انتقالية :تتألف من امواج تسبب انضغاطا في وسط الانتقال ويكون تذبذب هذه الحبيبات بأتجاه حركة الموجة وتسمى احيانا بموجات الضغط وهي الاكثر اهمية حيث انها الاسرع والاكثر استخداما وان الموصلات الصوتية الكهربائية هي من هذه النوع، وتعتمد سرعة الانتقال على معامل المرونة (E) ونسبة بواسون(υ) والكثافة(ρ) ويمكن التعبير عنها بالمعادلة(2–4–5) .

$$V=\sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad 5-4-2$$

2. امواج مستعرضة او قصية : وتتألف من امواج تسبب ازاحة حبيبات وسط الانتقال بأتــجاه عمودي على اتجاه حركة الموجة وهي الاسرع والتي تعتمد على معامل الجسوء او معامل القص (G) وكثافة المادة ويمكن التعبير عن سرعة الانتقال بالمعادلة(2–4–6) .

$$V_S=\sqrt{\frac{G}{\rho}} \qquad 6-4-2$$

عندما يكون الجسم ذو ابعاد شبه محددة او محددة فيمكن ان يكون الانتقال بشكل ثالث حيث تنحصر الحركة الاهتزازية في سطح الجسم وتشبه الامواج السطحية الى حد ماالموجات التي تحدث في الماء عند ارتطامه بجسم ساقط وتكون لهذه الموجات ازاحات جزئية بيضاوية وهي الابطأ في السرعة ويمكن التعبير عن سرعة الموجات السطحية بالمعادلة(2–4–7).

$$V_{sur}= K \times V_S \qquad 7-4-2$$

k = معامل يعتمد على نسبة بواسون (υ) للخرسانة والتي قيمتها (0.15– 0.3) وتكون قيمة k محصورة (0.9– 0.93) ويمكن حسابها من المعادلة(2–4–8) التالية :

$$K=\frac{0.87+1.13\upsilon}{1+\upsilon} \qquad 8-4-2$$

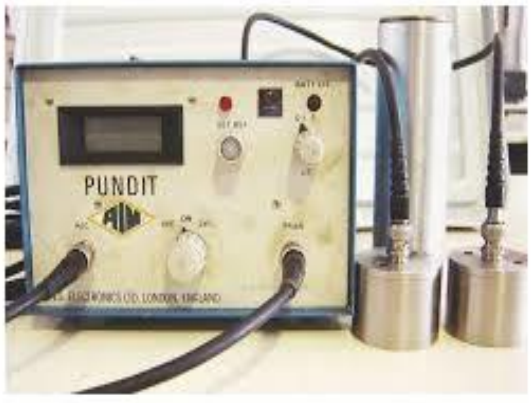
أن الفكرة الاساسية التي يبنى عليها اختبار الخرسانة بالامواج فوق الصوتية هي امكانية ايجاد علاقة بين سرعة الموجات فوق الصوتية وبين خواص الخرسانة كمقاومة الانضغاط ومعامل المرونة ويتم ذلك عن طريق احداث نبضات للامواج فوق الصوتية لتسري خلال الجسم الصلب وتعيين زمن انتقالها .(صلال راشد،2010) ، (عبد الرحمن مجاهد، 1999)

1.1.4.4.2: طريقة اجراء الاختبار

1. يتطلب الاختبار كفاءة عالية
2. استخدام اجهزة لانتاج نبضات مناسبة مع المادة كما في الشكل (2-4-6).
3. يتم ضبط الجهاز مع جهاز المعايرة المرفق مع الجهاز قبل بدء اختبار العينة
4. يتم قياس المسافة مسار النبضة Path Length بدقة .
5. يوضع المرسل Transmitter والمستقبل Receiver على العينة وان يكون الاتصال تام بين سطحي المرسل والمستقبل وسطح العينة ويستخدم لهذا الغرض الشحم او الجلسرين او الصابون السائل .
6. عند وضع المرسل والمستقبل على العينة يستمر هذا الوضع حتى تثبت القراءة واذا استمر تأرجح القراءة للجهاز عندها يؤخذ المتوسط .
7. يكون الرقم معبرا عن الوقت T لسريان النبضة ومنها تحسب سرعة الموجة من المعادلة(2-4-9).

$$V = \frac{L}{T} \qquad 9-4-2$$

V= سرعة الموجة (كم\ثانية)، L= طول المسار(كم) ، T= زمن انتقال الموجة(ثانية)



الشكل(2-4-6) نماذج جهاز الموجات فوق الصوتية

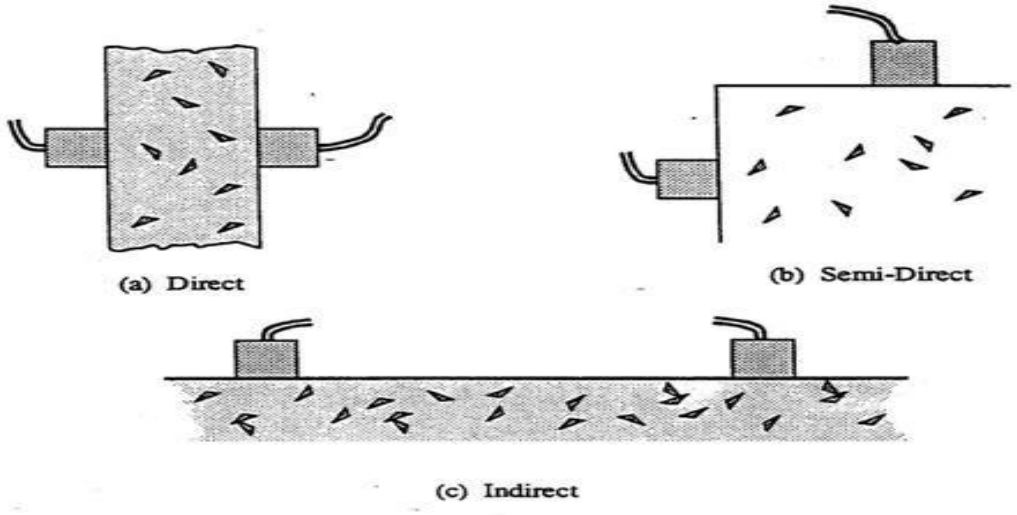
2.1.4.4.2: وضع المرسل والمستقبل Transducers Arrangement

توجد ثلاث طرق لوضع المرسل والمستقبل كما في الشكل(2-4-7) كما يلي:

1. في اتجاهين متضادين (قياس مباشر) Direct Transmission

تؤمن انتقال اكبر كمية من الطاقة الصوتية الى النموذج وبشكل مباشر .

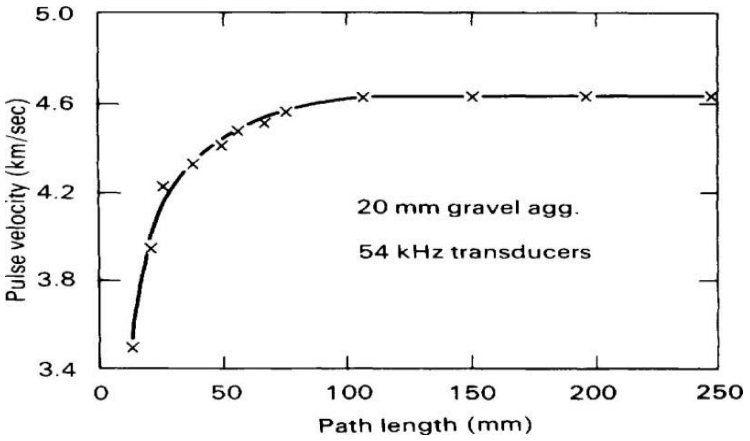
2. في الجوانب المجاورة (قياس نصف او شبه مباشر) Semi – Direct Transmission
تستخدم لاختبار الجسور التي لايمكن اختبارها بالطريقة المباشرة .
3. في نفس السطح (قياس غير مباشر) Indirect Transmission
اقل دقة من الطريقة المباشرة ويكون انتقال الامواج على الطبقة السطحية وبطاقة اقل وان سعة الاشارة المستقبلة تقل (3%) من الطريقة المباشرة وتستخدم في اختبار البلاطات.



الشكل (2-4-7) وضع المرسل والمستقبل (J. Bungey & others, 1996)

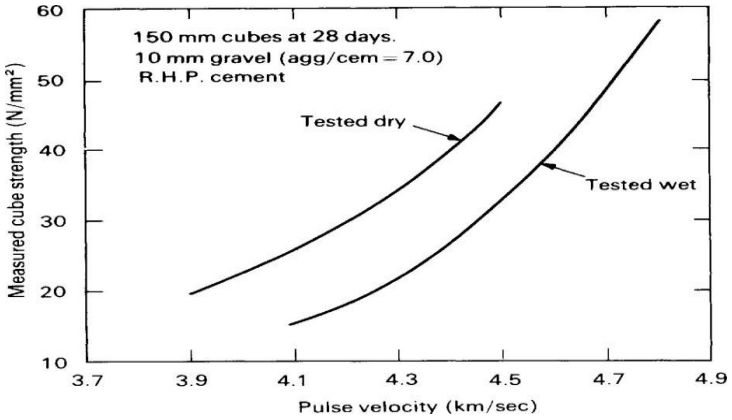
3.1.4.4.2 : العوامل المؤثرة على النتائج(عبد الرحمن مجاهد، 1999)،(J. Bungey & others,1996)

1. درجة الحرارة : درجات الحرارة العادية لاتؤثر على سرعة النبضات لكن اذا وصلت الى حدود شاذة فأن تأثيرها يكون متوقعا لسبب الشقوق والشروخ الداخلية المتناهية المحتمل توقعها عند الحرارة العالية.
2. ظروف تعرض الخرسانة الى اجهادات سابقة :عند تعرض النماذج المعملية الى اجهادات لم تصل الى 50% من مقاومة التهشيم فأن سرعة النبضات لا تتأثر .
3. تأثير طول المسار : لا يؤثر طول المسار على نتائج قياس سرعة النبضات مع الملاحظة ان لا يكون صغيرا جدا والا سيكون الوسط الغير متجانس للخرسانة ذات تأثير كبير وقد وجد ان سمك اكبر من 100مم او 150 مم مع استخدام ركام من (20- 40)مم يعتبر غير مؤثر على النتائج.وقد بينت التجارب ان السرعة المقاسة سوف تقل بزيادة طول المسار ويلاحظ نقصا مقداره 5% عند تغير طول المسار من (3- 6) م كما في الشكل(2-4-8) .



الشكل (2-4-8) علاقة طول المسار مع سرعة الموجات فوق الصوتية

4. ظروف وحالات الرطوبة :سرعة النبضات خلال الخرسانة المشبعة قد تكون اكثر بمقدار 5% لنفس نوعية الخرسانة في الظروف الجافة كما في الشكل(2-4-9).



الشكل(2-4-9) تأثير حالة رطوبة العينة على سرعة الموجات

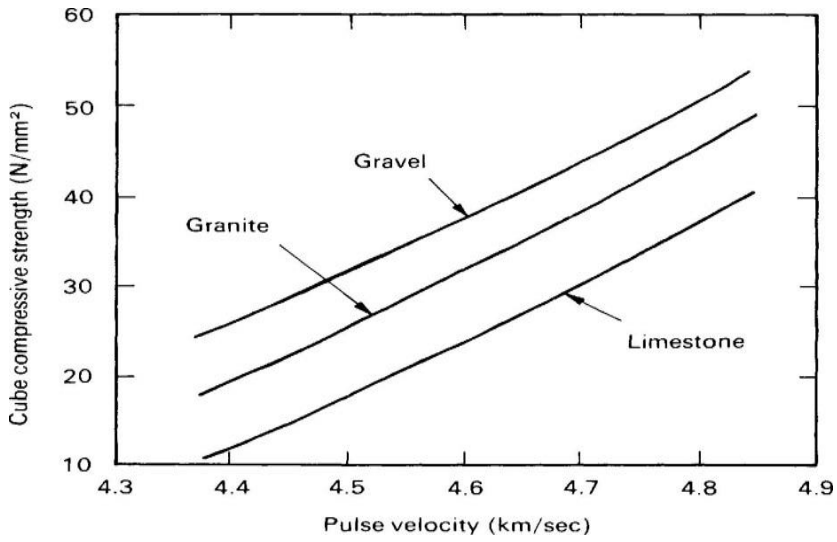
5.تأثير حديد التسليح :يفضل تفادي حديد التسليح اذا امكن ذلك حيث ان له تأثير في زيادة سرعة النبضات (سرعة النبضات في الحديد 5.9 كم/ث) وبينت ذلك المواصفات القياسية البريطانية (B.S.1881 part 203-1986) أنه بصورة عامة ان حديد التسليح يزيد من سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية في الخرسانة وان سرعة الانتقال للموجة تعتمد على قطر القضبان وعددها وطريقة توزيع القضبان في المقطع الخرساني ونجد حالتين لوضع حديد التسليح بالنسبة لخط سريان النبضات .

الاول : يكون محور السيخ عامودي على مسار النبضات وفي هذه الحالة القراءاة تتأثر بقطر الاسياخ التي تعترض مساره .ويتم تطبيق معامل تصحيح يعتمد على قطر الحديد.

الثاني:عندما يكون محور السيخ موازي لخط السريان في هذه الحالة تخرج الموجة وتتجه لتسير خلال السيخ في المنطقة الموجودة ويطبق ايضا معامل تصحيح.

واثبت (عامرمحمد وأخرون، 2010) ان زيادة قطر حديد التسليح وزيادة العمر ونقصان المسافة بين قضبان حديد التسليح وقلة الغطاء الخرساني يؤدي الى زيادة سرعة الموجات فوق الصوتية ويكون تأثيرحديد التسليح اكبر عندما يكون بأتجاه موازي لأتجاه سريان الموجة.

6. تأثير درجة التصلد:الخرسانة التي وصلت لدرجة تصلد تعادل(50%) من قوتها لا تؤثر على سرعة سريان الموجات.
7. تأثير عمر الخرسانة: تتأثر سرعة الموجات بزيادة العمر حتى عمر(7) ايام.
8. نوع الركام : يتأثر زمن انتقال النبضات بنوع الركام المستخدم وشكله وحجمه ونسبة الخلط لذلك يعمل منحنيات خاصة لكل نوع من الركام على حدة كما في الشكل (2-4-10).



الشكل (2-4-10) تأثير نوع الركام على نتائج الموجات (J.Bungey&others,1996)

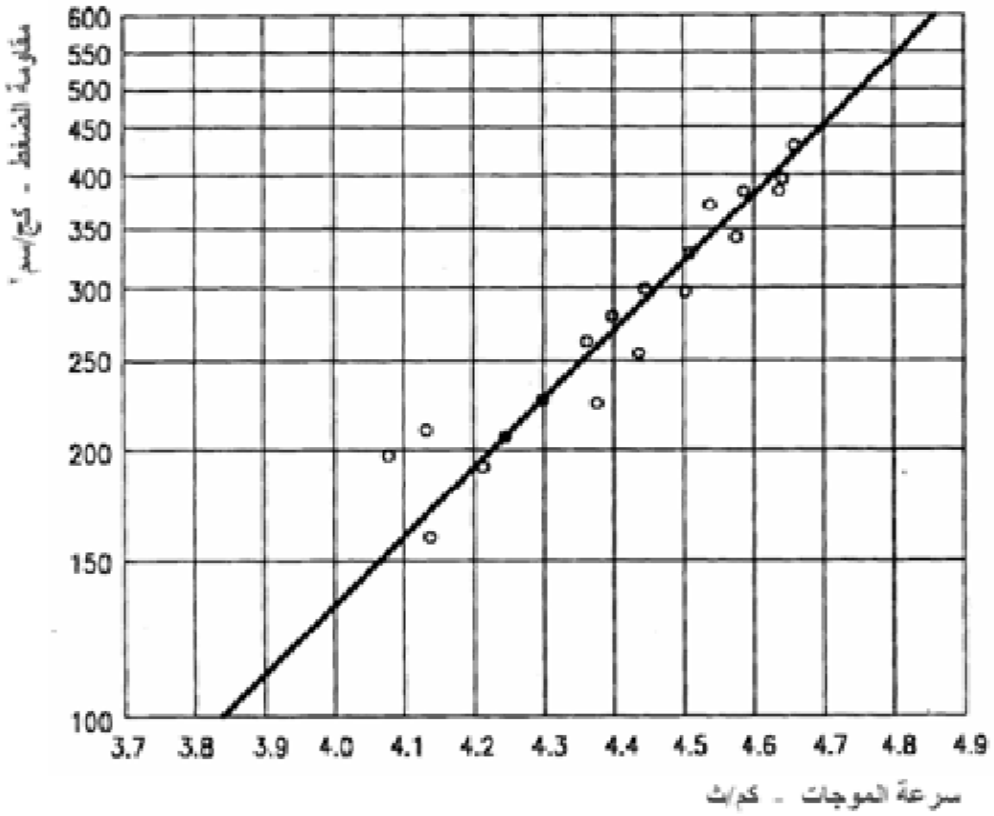
4.1.4.4.2: استعمالات وتطبيقات جهاز قياس سرعة الموجات فوق الصوتية

اولا". تقدير مقاومة انضغاط الخرسانة Concrete Strength Estimation

يعطي الاختبار فكرة عن المقاومة ولا يعطي قيمة المقاومة بصورة مباشرة وقام بعض الباحثين الى اعطاء قيما استرشادية لعلاقة سرعة النبضات مع مقاومة الخرسانة كما في الجدول (2-4-1) الذي وضعه (جونسون وغاتفيلد)، وكذلك تم ايجاد منحني المعايرة لايجاد العلاقة بين مقاومة الخرسانة وسرعة الموجات كما في الشكل(2-4-11)، وقد وضع هذا المنحني على اساس اختبار مجموعة كبيرة من العينات ذات مقاومة مختلفة وتم قياس سرعة النبضات في كل حالة ودقة النتائج تتراوح بين ±20 % من القيمة الفعلية لمقاومة الضغط (عبد الرحمن مجاهد، 1999).

الجدول(2-4-1) تقدير نوعية الخرسانة طبقا لسرعة الموجات فوق الصوتية (عبد الرحمن مجاهد، 1999) و(صلال راشد،2010)

سرعة الموجات فوق الصوتية كم/ث	اكبر من 4.5	4.5-3.5	3.5-3	3-2	اقل من 2
نوعية الخرسانة	ممتازة	جيدة	مشكوك فيها	سيئة	سيئة جدا



شكل(2-4-11) علاقة سرعة الموجات مع مقاومة الانضغاط (امام 2002)

وهناك معادلات عديدة وجدت علاقات تقريبة بين سرعة الموجات وبين مقاومة الانضغاط للخرسانة (Baqer,2008) وكما يلي :

1..معادلة (Jones .R eq 1962)

$$C= 2.8\ e^{0.53\ D} \qquad 2-4-10$$

C =مقاومة انضغاط الخرسانة N/mm^2، D= سرعة الموجات Km/sec

2.معادلة (Elvery and Ibrahim eq 1976)

$$C=0.0012\ e^{2.27\ D} \pm 6.4 \qquad 2-4-11$$

C=مقاومة انضغاط الخرسانة N/mm^2، D= سرعة الموجات Km/sec

3.معادلة (Raouf and Ali eq 1983)

$$C=2.016\ e^{0.61\ .D} \qquad 2-4-12$$

C=مقاومة انضغاط الخرسانة N/mm^2، D= سرعة الموجات Km/sec

4.معادلة (Popovics eq 1990)

$$C=0.0028\ e^{0.0021\ D} \qquad 2-4-13$$

C=مقاومة انضغاط الخرسانة N/mm^2، D= سرعة الموجات m/sec

5.معادلة (Deshpandeeq 1996)

$$C=79.846+4.103*10^{-9}\ DE^3+0.00217A^3+4.842*10^{-6}\ D^2 \qquad 14-4-2$$

C=مقاومة انضغاط الخرسانة Kg/cm^2، D= سرعة الموجات m/sec

DE=كثافة الخرسانة Kg/m^3، A = عمر الخرسانة بالايام

6.معادلة (Nashat eq 2005)

$$C=1019\ e^{0.715\ D} \qquad 15-4-2$$

C=مقاومة انضغاط الخرسانة N/mm^2، D= سرعة الموجات Km/sec

ثانيا" . اكتشاف الشقوق(الشروخ) والتعشيش والفجوات وتحديد عمق الشق السطحي

تعتمد فكرة استخدام جهاز قياس سرعة الموجات فوق الصوتية في اكتشاف الشروخ والفجوات على حقيقة ان النبضات لا تسري في الفراغ فتسلك الموجة مسارا اطول وعليه تختلف السرعة حيث ان زمن انتقال الموجات يزيد نتيجة وجودالشقوق ويمكن معرفة ذلك بمقارنة زمن انتقال خلال الخرسانة السليمة ويمكن التعرف على خواص وطبيعة الشق والفجوات بدقة ±15% ويمكن قياس عمق الشق تقريبا باستخدام العلاقة والمنحني الموضح في الشكل (2-4-12) (السامرائي وأخرون، 1999) . وقد بين (امير الدليمي، 2009) امكانية استخدام جهاز الموجات فوق الصوتية وفي كلا الطريقتين المباشرة وغير المباشرة في الكشف عن مواقع الفجوات والشقوق وتقييم خصائص الخرسانة واستنتج ان لنفس الخرسانة فأن سرعة الموجات تزداد بزيادة كثافة الخرسانة.واستعمل اربع طرق لحساب عمق الشق وفق المعادلات التالية الواردة في كتاب (السامرائي وأخرون، 1999):-

1.وضع المستقبل والمرسل على مسافة x من منتصف الشق ويحسب العمق من المعادلة (16-4-2)

$$h= x\sqrt{\frac{Tc^2}{Ts^2}} - 1 \qquad 16-4-2$$

h= عمق الشق(مم)

x = مسافة المرسل والمستقبل عن منتصف الشق (مم).

Tc= زمن مرور الموجة عبر الشق (مايكروثانية) .

Ts=زمن مرور الموجة في موقع خالي من الشقوق (مايكروثانية).

2.وضع المرسل والمستقبل على مسافة (x) من منتصف الشق ثم مضافعفة المسافة من كلا الجهتين ويحسب العمق من معادلة (2-4-17).

$$h=x\sqrt{\frac{4T1^2-T2^2}{T2^2-T1^2}} \qquad 17-4-2$$

T_1= زمن مرور الموجة للمسافة(x) من كلا الجهتين (مايكروثانية).

T_2= زمن مرور الموجة للمسافة(2x) من كلا الجهتين (مايكروثانية).

3. تعتمد على قياس عمق الشق في الخرسانة على رسم مخطط بياني لعدد من القراءات واحتساب العمق من خلال النتائج التي يظهرها الخط البياني. ويحسب العمق من معادلة (2-4-18).

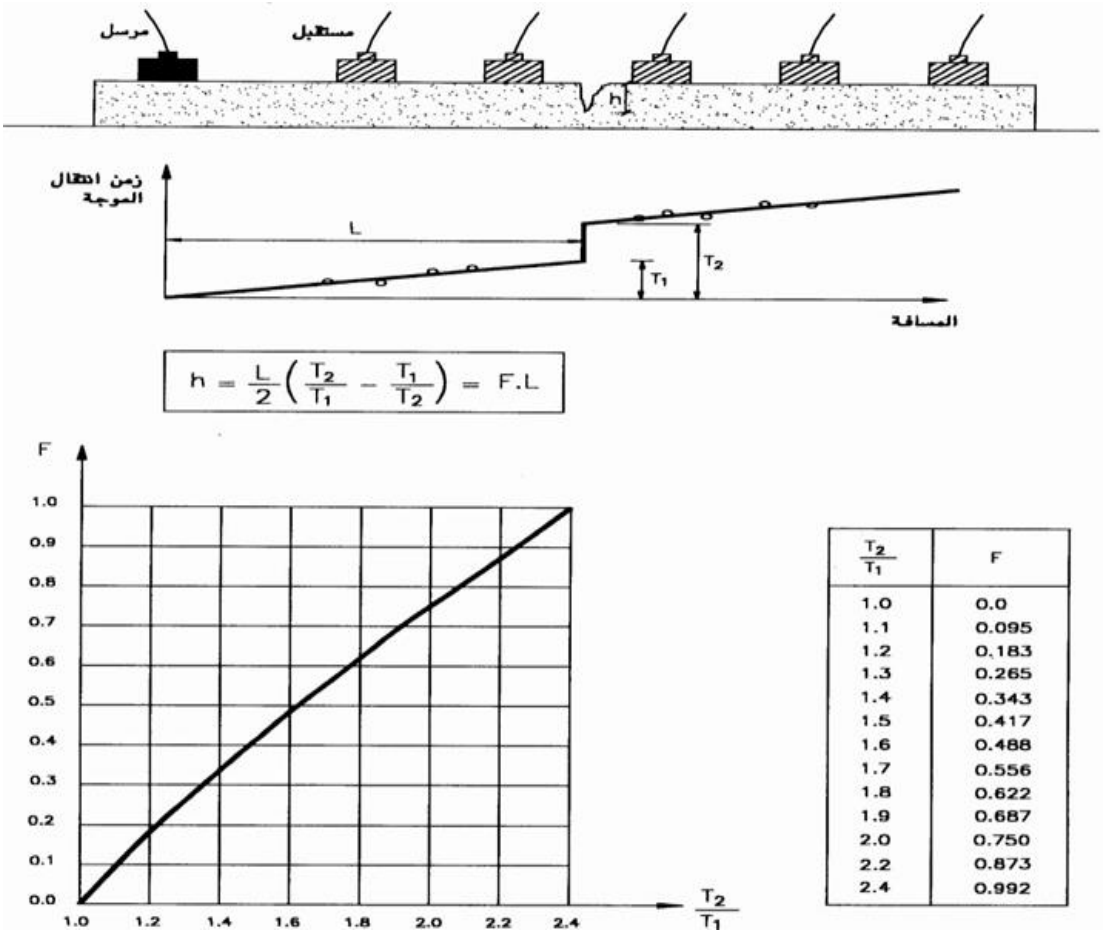
$$h = \frac{T \cot \alpha \ (T \cot \alpha + 2L)}{2 \ (\cot \alpha + 2L)} \qquad 18-4-2$$

L= المسافة من موقع اول نقطة تقاس الى منتصف الشق (مم).

T= الفرق زمن الانتقال بين T_2 و T_1 ، حيث T_1،T_2 هما زمن انتقال الموجة قبل وبعد الشق.

4. معادلة مبسطة وتعتمد ايضا على رسم مخطط بياني نفس الطريقة السابقة ،ويحسب العمق من معادلة (2-4-19).

$$h = \frac{L}{2}\left(\frac{T2}{T1} - \frac{T1}{T2}\right) = F.L \qquad 19-4-2$$



$\frac{T_2}{T_1}$	F
1.0	0.0
1.1	0.095
1.2	0.183
1.3	0.265
1.4	0.343
1.5	0.417
1.6	0.488
1.7	0.556
1.8	0.622
1.9	0.687
2.0	0.750
2.2	0.873
2.4	0.992

الشكل(2-4-12) تحديد عمق الشق باستخدام الموجات فوق الصوتية،(عبد الرحمن مجاهد، 1999)

ثالثا". .تقدير قيمة تدهور الخرسانة Estimation of Concrete Deterioration

تستعمل الموجات فوق الصوتية في التعرف على درجة تلف الخرسانة الناتج من تأثير الحريق او عوامل كيميائية او ميكانيكية اخرى وتم استنباط طريقة مبسطة من قبل (Tom Set) حيث تم فرض بأن سرعة الموجات للمناطق الداخلية الصلدة للخرسانة يمكن الحصول عليها من المساحات غير المتأثرة وان السرعة المناظرة للسطح المنهار تعادل صفرا، ومع الفرض ان هناك علاقة خطية بين السطح الخارجي والداخل تمكن من قياس العمق في الخرسانة الصلدة والممكن حسابه لزمن انتقال المقاس للطبقة المنهارة من المعادلة(2-4-20) والتي تعطي قيم تقريبية للعمق المنهار ونتائج معقولة وقد يكون فيها نسبة الخطأ كبير في حالة عدم دقة الجهاز كما يمكن ايجاد علاقة بين اعلى درجة حرارة وصلت اليها الخرسانة اثناء تعرضها للحريق وبين سرعة الموجات وبين مقاومة الانضغاط المتبقية ..(عبد الرحمن مجاهد، 1999)

$$t = (T. V_C - L) \qquad 20-4-2$$

t = عمق الطبقة المنهارة او التالفة.

V_C = السرعة الفعلية للموجات خلال الخرسانة السليمة.

T = زمن انتقال الموجة خلال الخرسانة المحتوية على منطقة سطحية منهارة.

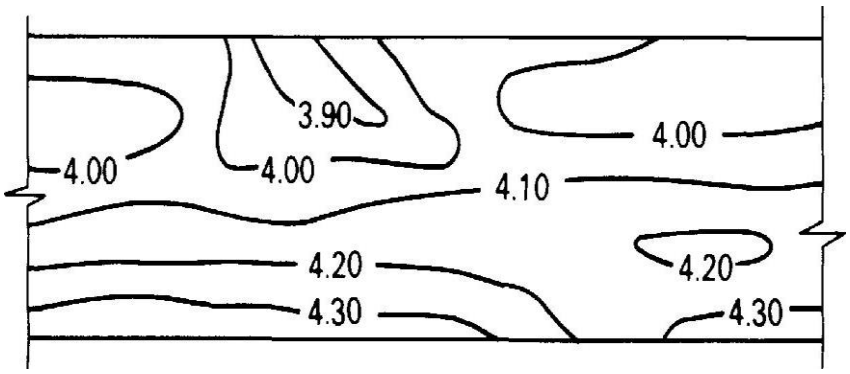
L = طول مسار الموجة خلال الخرسانة المحتوية على منطقة سطحية منهارة.

و بينت (Sawsan A.Hassak, 2007) علاقة عكسية بين درجات الحرارة المعرضة للخرسانة وسرعة الموجات فوق الصوتية حيث ان عند زيادة درجات الحرارة المعرضة للخرسانة تؤدي الى نقصان في سرعة الموجات فوق الصوتية وبالتالي تؤثر على قيمة المقاومة المتبقية للخرسانة وتقللها وتسبب زيادة تدهور العنصر الخرساني المعرض الى درجات حرارة عالية اثناء الحريق.

رابعا". قياس درجة انتظام الخرسانة Measurement of Concrete Uniformity

تعتبر هذه الطريقة من اهم التطبيقات ذات القيمة والثقة العالية بالموقع ،ان التحليل الاحصائي للنتائج والمقترن برسم خطوط كنتورية لسرعة الامواج لأي عنصر انشائي قد تؤدي بدون شك الحصول على معلومات قيمة عن مدى الاختلاف لكلا من مواصفات المادة والمنشأت الخرسانية ، ويجب اخذ القراءات على شبكة ممتدة بطول العنصر كما في الشكل(2-4-13) ، ويعتبر معامل الاختلاف لسرعة الامواج بين (6- 9)% يعتبر مقبولا . ان وجود عيوب خطيرة باستخدام تكنيك الخطوط الكنتورية في العادة يتطلب تقدير قيم المقاومة كما بينت سابقا في تقييم مقاومة انضغاط الخرسانة وان تقدير الموثوق فيه للمقاومة المطلقة عادة غير ممكن ولكن بمعرفة القيمة المتوسطة للمقاومة فتكون العلاقة ($F_c=k\ v^4$) تكون مرضية لتقدير قيم نسبية من خلال مدى صغير واذا لم يتحقق هذا يتطلب اجراء طريقة بديلة مثل طريقة القلوب الخرسانية.

(J. Bungey & others, 1996)



الشكل (2-4-13) الخطوط الكنتورية لسرعة الموجات لكمرة خرسانية تم صبها وتحميلها

خامسا". قياس معاير المرونة للخرسانة Measurement of Elastic Modules For Concrete

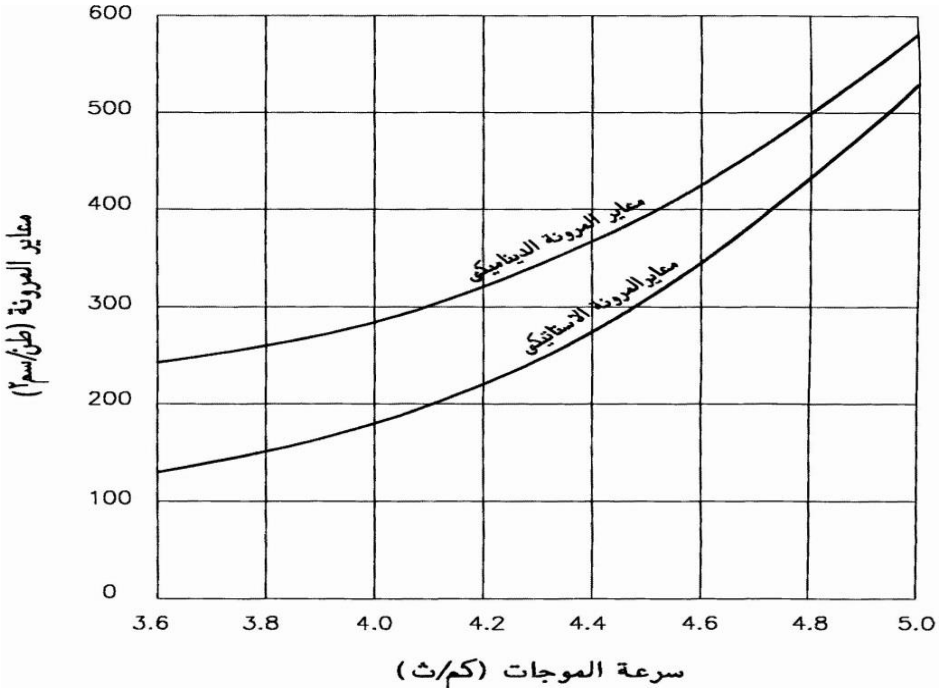
تقدير قيمة معاملات المرونة يكون اقل تعقيدا من تقدير مقاومة الخرسانة وقد وجد ان منحني واحد يمكن ان يستخدم لربط سرعة الموجات بمعايرات المرونة الديناميكي والاستاتيكي ولعدد كبير من الخرسانات ذات الركام المختلف كما في الشكل (2-4-14) .(امام ، 2002) ، ومن خلال استخرج معامل المرونة يمكن استخراج مقاومة الانضغاط من المعادلة (2-4-21) .(عادل، 2013)

$$E = 5.5 \times \sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_m}} \qquad 21-4-2$$

E= معامل المرونة الاستاتيكي .

f_{cu}= مقاومة الانظغاط .

γ_m = ثابت قيمته 1.5 .

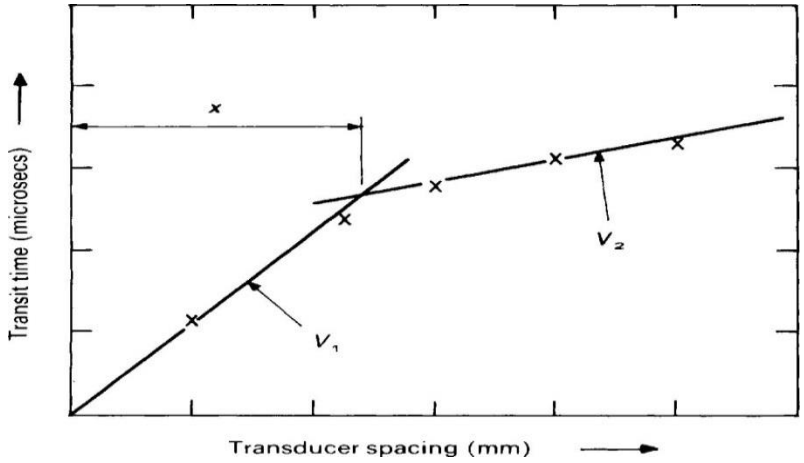


الشكل (2-4-14) العلاقة بين سرعة الموجات ومعامل المرونة (امام 2002)

سادسا". قياس سمك الطبقة Measurement of Layer Thickness

ويستخدم فيها طريقة القياس غير المباشر وهي مناسبة للتطبيق في البلاطات الخرسانية حيث طبقة السطح المحتوية على نوعيات مختلفة نتيجة للانشاء او الظروف الجوية او التصدع او التعرض للحرائق ،عندما تكون المحثات قريبة من بعضها فان الموجات سوف تنتقل على الطبقة السطحية فقط بينما كلما زادت المسافة بين المحثات فأن المسار سوف يحتوي على طبقات تحت السطح وهذا التأثير سوف يتضح من عدم استمرار المنحني الممثل للعلاقة ما بين زمن الانتقال والمسافة بين المحثات حيث سرعات الموجات المختلفة خلال الطبقتين ذات ميول مختلفة كما في الشكل (2-4-15)، ويمكن تطبيق المعادلة في حساب السمك(t) للطبقة العليا مرتبط بالسرعات V_2،V_1 وبمعرفة المسافة(x) التي عندها عدم الاستمرار فأن (t) يمكن التعبير عنها بالمعادلة (2-4-22) وتكون المعادلة اكثر صلاحية لطبقة محدودة ذات سمك متصل فأن القيمة يمكن اعتبارها قيمة مقدرة على احسن فرضية وهنا يجب التنويه بأنه سوف يكون هناك اقصى سمك للطبقة يمكن اظهاره .(عبد الرحمن مجاهد، 1999)

$$t = \frac{X}{2} \times \sqrt{\frac{V2-V1}{V2+V1}} \qquad 22-4-2$$



الشكل(2-4-15) كيفية وطريقة قياس سمك الطبقة (J. Bungey & others, 1996)

2.3.4.2 : اختبارات ميكانيكية سطحية (جهاز مطرقة شميدت)

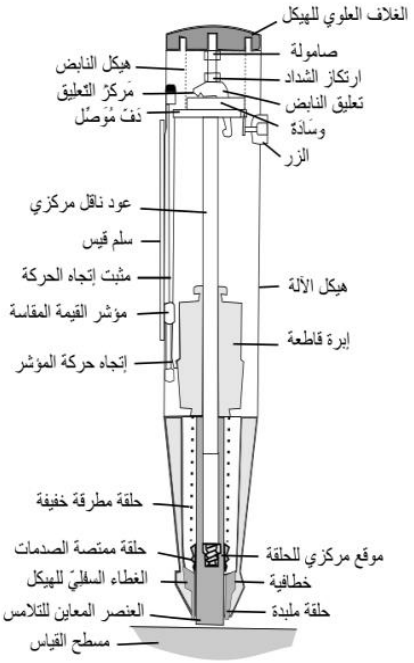
هي من الاختبارات التي لها علاقة بصلادة سطح الخرسانة اكثر من علاقتها بخواص الخرسانة ومقاومتها منها ومن هذه الاختبارات ،اختبار مطرقة شيمدث والذي يعتبر اختبار غير اتلافي ، وهناك اختبارات اخرى ميكانيكة سطحية الا انها تعتبر شبه اتلافية مثل اختبار الاختراق باستخدام محبس وندسور واختبار السحب او القلع .(صلال راشد،2010)

تستخدم مطرقة شميدت الظاهرة في الشكل (2-4-16) في تعيين رقم الارتداد حيث يعتمد عمل الجهاز على النظرية التي تنص على ان قوة ارتداد كتلة مرنة يعتمد على قوة السطح الذي تصطدم به ويستخدم رقم الاتداد هذا في الاسترشاد عن القيمة التقريبية لمقاومة الانضغاط للخرسانة ،ان الجهاز سهل الاستعمال ويمكن تشغيله افقيا او رئسيا او بأي زاوية ميل مع عامل التصحيح اللازم لرقم الارتداد ،ولذلك ان هذا النوع من الاجهزة شائع الاستخدام ومناسب

للخرسانات ذات المقاومة التي تتراوح ما بين (20–60) MPa ومما هو جدير بالذكر فأن هناك طرازات اخرى لاختبار الخرسانات الضعيفة مثل مطرقة الارتداد ذات الطراز البندولي . (عبد الرحمن مجاهد، 1999)

1.2.3.4.2 : مميزات مطرقة شميدت (امام، 2002)

1. جهاز صغير الحجم يمكن استعماله في المواقع وحمله في اليد.
2. يعطي نتائج سريعة لمقاومة الضغط وسهل الاستعمال.
3. لا يسبب تلف للخرسانة .
4. جهاز لا يتطلب احتياطات معقدة .
5. ارخص الاجهزة المستخدمة لهذا الغرض.
6. يتحمل العمل الشاق في جو التنفيذ مقارنة بالاجهزة الاخرى.
7. سهولة معايرته من وقت الى اخر .

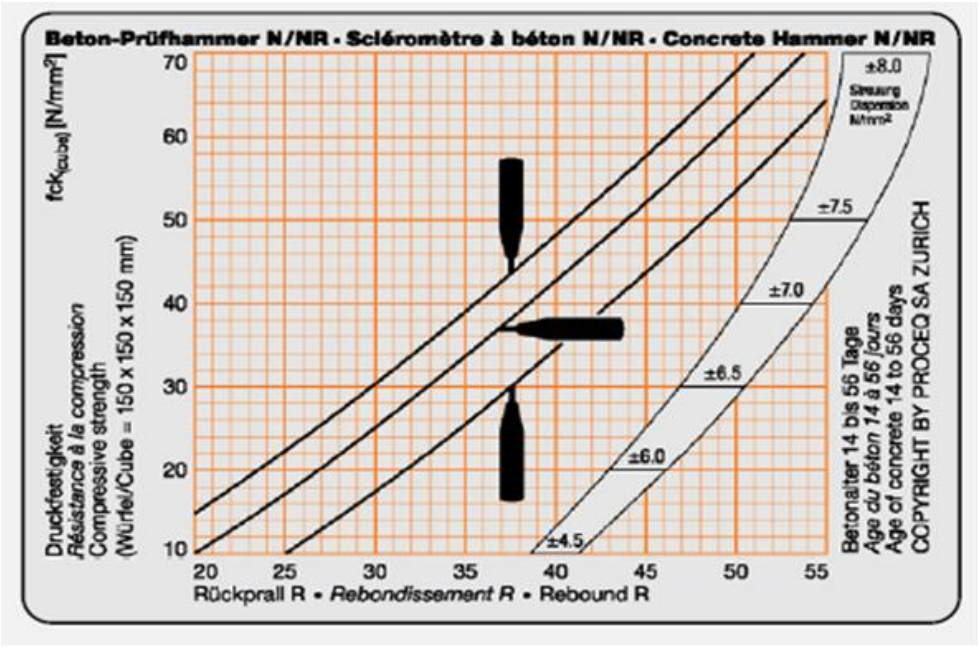


الشكل(2–4–16) جهاز مطرقة شميدث

2.2.3.4.2 : طريقة اجراء الاختبار

1. قبل اجراء الاختبار يتطلب تنظيف السطح الخرساني مع تسويتة وتنعيمه بحجر الجلخ .
2. القراءات لمطرقة الارتداد حساسة جدا للمتغيرات الموضعية للخرسانة وبالاخص حبيبات الركام القريبة من السطح ولذلك يتطلب اخذ قراءات عند كل موضع اختبار مع ايجاد متوسط هذه القراءات وان المواصفات البريطانية(45)202 B.S.1881:part توصي بعدد قراءات 12 قراءة وقد تؤخذ (9– 25) قراءة على مساحة لا تزيد عن 300 مم مربع او مع نقـط صدم لاتقل عن 20 مم كل واحدة عن الاخرى او في الحافة.
3. يفضل ان يكون السطح المختبر ناعم ونظيف وجاف ولكن اذا كان السطح سبق تسويته فالواجب تنعيمه بحجر الجلخ المعطى مع الجهاز.

4. ان اجراء الاختبار يعتمد اساسا على فكرة ان ارتداد كتلة معلومة عن حالة السطح طبقة من الخرسانة ذات عمق او سمك لا يتعدى 30 مم لذلك فأن النتائج تعبر عن مقياس درجة الصلادة النسبية للمنطقة المختبرة .
5. بمعرفة متوسط رقم الارتداد فانه يمكن تقدير متوسط مقاومة الانضغاط بدلالة العلاقة التجريبية بينهما والتي غالبا ما تعطى بصورة منحنيات كما في الشكل(2-4-17) او جداول كما في(ملحق A3) وتعطى مع كل جهاز علما هذه تكون معايرة لعمر ثلاثة اشهر .ويتم التصحيح في حالة باقي الزوايا والملحق (جدول)A4 يبين كيفية التصحيح.



الشكل(2-4- 17) العلاقة بين مقاومة الانضغاط ورقم الارتداد R

6. في حالة الخرسانة القديمة وذات العمر الطويل يجب ازالة الطبقة السطحية الصلدة ولعمق حوالي نصف بوصة بواسطة حجر الجلخ الميكانيكي وذلك على مساحة حوالي 4 بوصة مربع لأجراء الاختبار عليها مع عدم خبط حبيبات الركان والابتعاد عنها .(عبد الرحمن مجاهد، 1999).
7. في حالة البلاطات الخرسانية التي يقل سمكها عن(10) سم يتأثر رقم الارتداد بالتشكل المرن لقطاع البلاطة تحت تأثير الصدمة وبالتالي يعطي الجهاز رقم اقل من العادي لذلك يجب في مثل هذه الحالات تثبيت الجزء المختبر بطريقة تقضي على اهتزازات هذه الاجزاء النحيفة تحت تأثير الصدمة.(العريان وأخرون، 1975)

3.2.4.4.2 : العوامل المؤثرة على رقم الارتداد ونتائج الاختبار

اولا":عوامل ذات علاقة بخواص الخلطة الخرسانيةMix characteristics

1. محتوى الاسمنت Cement content
2. نوع الاسمنت Cement Type
3. نوع الركام الخشن Coarse Aggregate Type

ثانيا". عوامل ذات علاقة بخواص العنصر الانشائي المراد اختباره

1.حجم الكتلة Mass المختبرة

2.درجة رص(دمك Compaction)الكتلة المختبرة

3.حالة ونوع السطح (Surface Type) المختبر

4.تشبع الخرسانة Moisture Condition

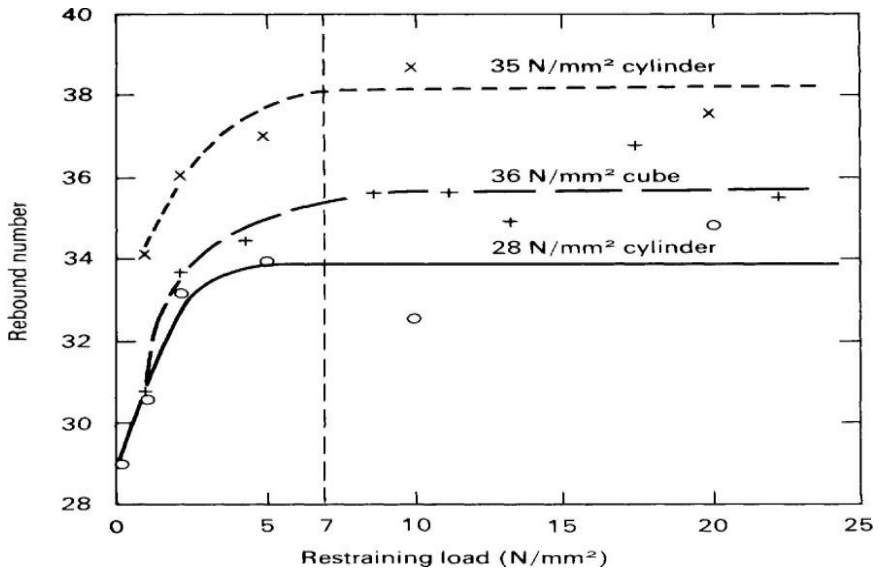
5.عمر ومعدل تصلب الخرسانة ونوعية المعالجة Age ,Rate of hardening and curing

6.كربنة السطح Surface Carbonation

7.حالة الاجهاد المعرضة ودرجة الحرارة Stress State and Temperature

4.2.4.4.2 : المعايرة Calibration

ان معايرة المقاومة يجب ان تكون باستخدام خلطة خاصة محددة مع استيفاء وضرورة ان تكون حالة السطح والمعالجة وعمر العينات المختبرة مناظرة تقريبا كلما امكن ذلك لمثيلاتها للخرسانة بالموقع ، و يتطلب التاكد من نظافة وحالة رأس المطرقة وخواص الاحتكاك الداخلي للجهاز و انه من المهم ان تكون عينات الاختبار اما ممسوكة (مقيدة في نهايتها) بين فكي ماكنة الاختبار جاسئة او موضوعة على سطح صلد ومستو، في المعايرة تستخدم مكعبات او اسطوانات طول ضلعها لايقل عن 150 مم مقيدة بحمل على الاقل يعادل(15%) من المقاومة المحتملة للعينة الاسطوانية بينما لايقل عن (7)MPa بموجب ما موضح في المواصفات القياسية البريطانية (B.S.1881:45) ويبين الشكل(2-4- 18) العلاقة المتبادلة بين رقم الاتداد والحمل المقيد للعينة المختبرة ، وكما هو معروف ان مقاومة المكعب المبلل اقل بمقدار (10%) من نظريتها للمكعب المختبر في حالة الجافة ،ان القراءات يجب ان تؤخذ على الاقل على وجهين رأسيين للعينة كماهي في حالة الصب. (عبد الرحمن مجاهد، 1999)



الشكل(2-4- 18) تأثير تقييد العينة على رقم الارتداد ومعايرة المطرقة

(J.Bungey &others,1996)

5.2.4.4.2 : تطبيقات وحدود الاختبار Applications and limitations

1. التحقق من انتظام جودة الخرسانة وتجانسها عن طريق تقسيم السطح بخطوط عامودية وافقية الى مربعات واخذ القراءات ورسم خطوط الكنتورية التي تمثل تباين الخرسانة.
2. تقدير تقريبي لمقاومة الخرسانة فمن الافضل استخدام هذا الاختبار لاعطاء فكرة تقريبية عن مقاومة انضغاط الخرسانة لكن لا يستخدم هذا لبيان رفض او قبول الخرسانة .
3. مقارنة نوع معين من الخرسانة ذات متطلبات محدودة.
4. التحقق من مدى ملائمة الوحدات سابقة الصب للنقل.
5. تقييم مقاومة البري والاحتكاك.
6. اختبار قبول لبيان مدى ازالة الدعائم المؤقتة او لحظة انتقال الاجهاد في العناصر الخرسانية سابقة الاجهاد. (عبد الرحمن مجاهد، 1999)،(صلال راشد،2010)

6.2.4.4.2 : سندان الاختبار The Testing Anvil

يستخدم سندان الاختبار المبين في الشكل(2-4-19) للتحقق من التشغيل الصحيح للمطرقة والمعايرة، وان وزن السندان حوالي 16 كغم ويجب وضعه على ركيزة صلبة او ارضية صخرية. ان المطرقة يجب تعطي قراءات على السندان تتراوح (78- 82)، واذا اعطى رقم اقل فسوف يكون احتمال عدم نظافة الجهاز، وتتم المعايرة في حالة تغيير نوع الركام (دولوميت ، بازلت ، كرانيت ، حجر جيري) ، و يتم المعايرة ايضا للجهاز كل(2000) صدمة على الاكثر او عند ترك الجهاز دون استعمال او بعد اي صيانة للجهاز.في حالة عدم وجود سندان فيجب التاكد من المطرقة من حين الى اخر بمقارنـتها مع مطرقة جديدة او مطرقة حديثة المعايرة . (امام ،2002)،(عبد الرحمن مجاهد، 1999).

الشكل(2-4-19) المطرقة وسندان الاختبار

3.4.4.2 : الاختبارات الكهربائية او (المغناطيسية)

توجد في الوقت الحاضر عدة اجهزة كهربائية او مغناطيسية تستخدم كاختبارات غير اتلافية في ايجاد الخواص الكهربائية للخرسانة المسلحة والاستفادة منها في تطبيقات عملية ذات اهمية صناعية ومنها على سبيل المثال جهاز فحص المقاومة الكهربائية (Electrical Resistivity) وجهاز فرق جهد نصف الخلية (Half-cell potential measurement) الذي يستخدم في تحديد درجة تأكل حديد التسليح (Corrosion) وجهاز قياس سمك الغطاء الخرساني ومواقع حديد التسليح المعروف تجاريا (Cover Meter) والذي يستخدم التيار الكهرومغناطيسي.(صلال راشد،2010)

4.4.4.2 : اختبارات الراديوية و النووية بأشعة اكس وكاما النووية

تستخدم الاشعة النووية منذ الخمسينات في اختبارات الخرسانة وفي الوقت الحاضر تم تطوير اجهزة متطورة ومتنقلة لاختبار الخرسانة سواء في المختبر او في الموقع ومنها اختبارات النيوترونات واختبار اشعة كاما(γ) واختبار اشعة اكس(x) ، ومن احدى تطبيقات الاختبار بأشعة كاما (العريان وأخرون، 1975)

1. الكشف عن صدأ الحديد واماكن الشقوق(الشروخ) والفجوات .
2. معرفة كثافة الخرسانة عن طريق تقدير مدى امتصاص الخرسانة لأشعة كاما .
3. تحديد ومعرفة مدى الرطوبة بالخرسانة .

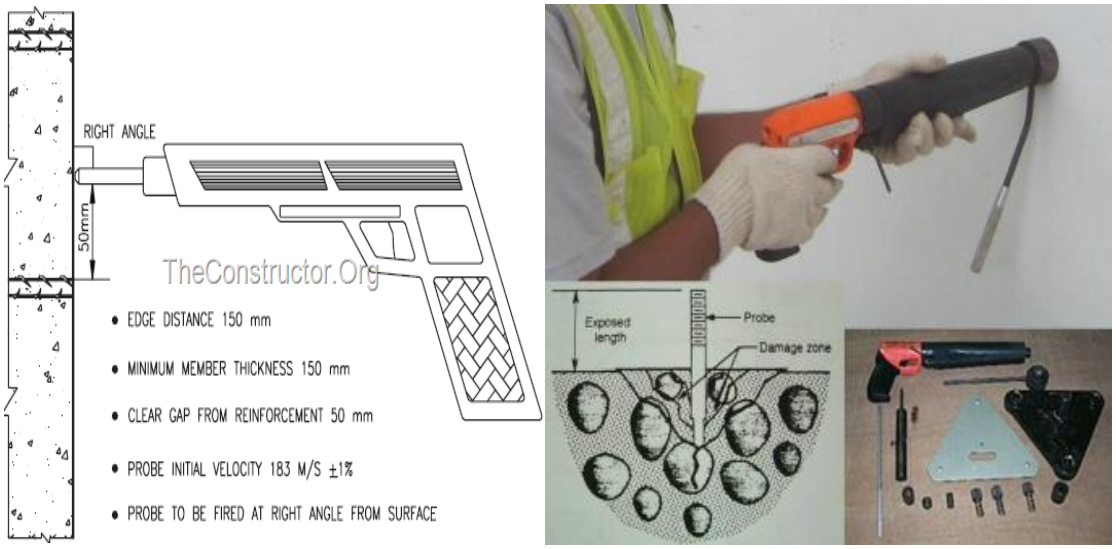
5.4.2 : اختبارات نصف (شبه) اتلافية Partially Destructive Test

تعد الاختبارات هذه احد التطورات التي حدثت في السنوات السابقة و الاهتمام بها في ايجاد مقاومة الخرسانة موقعيا و تسبب هذه الاختبارات اضرارا بسيطة في العضو الخرساني المختبر الا ان هذا الضرر او التلف الجزئي لايشكل ضعف في اداء العضو الخرساني وتكون الاختبارات هذه غير حساسة لبعض المتغيرات عكس ما هو عليه في اختبارات جهاز قياس سرعة الموجات فوق الصوتية وجهاز تعيين رقم الاتداد بمطرقة اشميدت . (J.Bungey&others1996)

1.5.4.2 : اختبار الاختراق Penetration Test

يسمى تجاريا اختبار وندسور Windsore Probe test استخدم في امريكا منتصف عام 1960 وتطور استخدامه وانتشر في امريكا وكندا ،ويستخدم هذا الاختبار لتحديد مقاومة الخرسانة المتصلبة حيث يتم باطلاق طلقات Pins او مسامير قياسية خاصة من الصلب ورفيعة الشكل (وبطول 79.5مم وقطر 6.35 مم)الى داخل السطح الخرساني من مسدس خاص كما في الشكل(2-4- 20) . ويمكن الحكم على قوة الخرسانة عن طريق قياس مقدارمسافة نفاذ الطلقة Probe الى داخل العضو الخرساني، وان مقاومة الاختراق تتناسب عكسيا مع مقاومة الخرسانة وتعتمد العلاقة هذه على صلادة الركام ،وترفق مع الجهاز مقياس وجدول قياسي لتحويل مقدار نفاذ الطلقة الى صلادة الخرسانة ومنها الى احتساب مقاومة الانضغاط وبينت

المواصفات الامريكية (ASTM 803-02) والمواصفات البريطانية(B.S. 1881 part 207) طرق اجراء الاختبار.



الشكل(2-4- 20) جهاز مسدس وندسور

2.5.4.2 : اختبار القلوب الخرسانية Cores Concrete Tests

يعتبر هذا الاختبار نصف متلف ويستخدم في تعيين مقاومة الضغط للخرسانة بصورة حقيقية وواقعية ويكون ذلك بواسطة اختبار عينة منتزعة (القلب الخرساني) من بعض الاعضاء الانشائية وعادة (الاعمدة والكمرات) ،والجهاز عبارة عن مثقاب به الة ثقب اسطوانية هي عبارة عن اسطوانات باقطار مختلفة مزودة بفدية من سبيكة خاصة مخلوطة ببرادة الماس (الماظة) ولها خاصية القطع في الخرسانة اثناء دوران الاسطوانة بواسطة الجهاز الذي يعمل بالضغط الهيدروليكي كما في الشكل (2-4- 21) .(امام، 2002)، و يعتبر الاختبار هذا هو الوسيلة الوحيدة التي يمكن ان تعطي نتائج دقيقة لمقاومة المنشأت الخرسانية للضغط بشرط اخذ جميع الاحتياطات اللازمة من جودة الماكنة وكفاءة القائم بالاختبار واعمال اعداد العينة ويجب ان تكون نسبة ارتفاع الى قطر العينة مساويا للضعف .(عبد الرحمن مجاهد، 1999)

1.2.5.4.2 : الغرض من الاختبار

1. تحديد مقاومة الخرسانة للضغط بدقة.
2. قياس كثافة الخرسانة وقياس خواص الانكماش والامتصاص لها ودرجة دمك الخرسانة وتصنف جيد ،متوسط او ضعيف.
3. معرفة توزيع المواد داخل الخرسانة.
4. الحكم على جودة الخرسانة الداخلية والفجوات الداخلية والتعشيش واماكن تواجدها واتجاهها وتحديد اسبابها وتصنف الفراغات كالاتي:صغيرة تكون من(0.5- 3) مم ، متوسطة من (3-6)مم، كبيرة اذا كانت اكبر من(6) مم.
5. وصف الركام بالعينة من حيث (الحجم والنوع وحالة السطح والشكل).

6. قياس الغطاء الخرساني بدقة ومعرفة نوع وقطر اسياخ الحديد المستخدمة اذا كان القلب منزوع من خرسانة يمر باسياخ حديد التسليح.

الشكل(2-4- 21) جهاز ماكنة الثقب (القلب) مع شكل العينة المستخرجة

3.5.4.2 :اختبار القلع Pull out Testing

يسمى ايضا" اختبار التصدع الداخلي Internal Fracture Test والغرض منه هو تحديد مقاومة الخرسانة المتصلبة وذلك عن طريق ايجاد العلاقة المتبادلة بين مقاومة الضغط لهذه الخرسانة وبين قوة القلع أو السحب اللازمة لقلع خوابير مدفونة من الصلب فيها او القوة اللازمة لاحداث تصدع داخلي نتيجة لنزع اسفيين (Wedge) مثبت بالخرسانة.وقد بينت المواصفات القياسية الامريكية ASTM 900-(01,06) ذلك ولهذا الاختبار مميزات عدة منها :

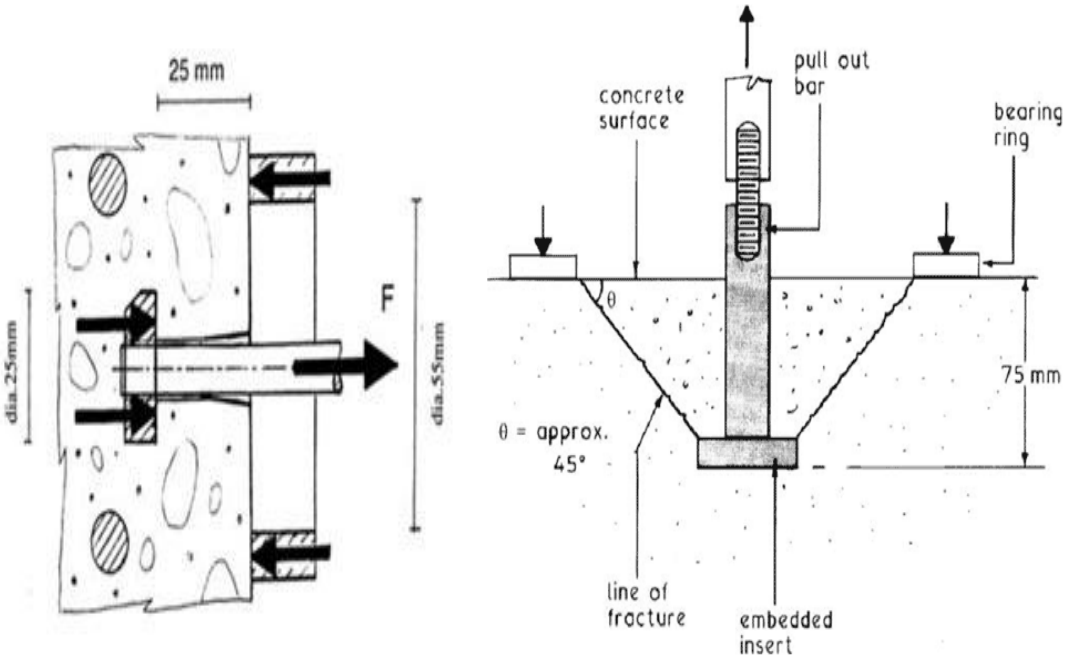
1. يستغرق وقتا قصيرا الى اجرائه عدة دقائق فقط
2. كمية الطاقة المستهلكة الى اجراء الاختبار ضئيلة ومحدودة
3. لا يسبب ضررا بالغا بالعضو المختبر حيث يتم عمل حفرة صغيرة يمكن اصلاحها بسهولة

1.3.5.4.2 : طرق الاختبار

اولا:اختبار لوك Lok Test

هو اختبار شبه متلف وسطحي فقط ولا يتعامل مع اعماق كبيرة للعضو الخرساني المختبر ويتم عن طريق اختبار خوابير صلب مدفونة في اماكن محددة سابقا قبل صبها بالخرسانة ثم قلعها في الوقت المطلوب كما في الشكل(2-4-22) .والغرض منه تقدير مقاومة الخرسانة في الايام الاولى لتحديد اقرب موعد لفك الشدة او تحديد موعد بداية الشد اللاحق Post – Tensioning في الخرسانة سابقة الاجهاد او لتحديد موعد ازالة الدعائم Shores و يكون تثبيت قطع الصلب قبل او اثناء الصب وفي السطح العلوي للبلاطة او الجانبي للكمرة، وقد

اظهرت بعض التجارب بان علاقة قوة السحب مع مقاومة الانضغاط للخرسانة لاتعتمد على نوع الركام ولا على نسبة الاسمنت او نوعه ويعتبر الاختبار هذا معيار لقياس مقاومة الخرسانة للقص المباشر، لكن اهم عيوب الاختبار هو ضرورة الحاجة لتحديد اماكن الاختبار مسبقا قبل او اثناء الصب وبالتالي لا يمكن استخدامه في قياس مقاومة الخرسانة للمباني والمنشأت القائمة .



الشكل (2-4- 22) اختبار لوك Lok Test

ثانيا:اختبار كابو Capo Test

اساس هذا الاختبار هو عمل ثقب بالسطح الخرساني للعضو المراد اختباره ثم وضع قضيب مخصوص له قرص عرضي في هذا الثقب واجراء اختبار السحب ،وان هذا النوع من الاختبار يمكن استخدامه في اختبار الخرسانة عند اي عمر وفي اي موضع من العضو الخرساني مقارنة" باختبار Lok Test .

ثالثا: التصدع الداخلي Internal Fracture

هو اختبار على اساس حدوث تصدع داخلي للطبقة السطحية للخرسانة المراد اختبارها وقد تم تطويره في مركز بحوث البناء البريطاني حيث فكرة هذا التطوير تنحصر في ادخال مسمار له اسفين يتمدد عند ادارته في ثقب يتم عمله في الجزء المراد اختباره ،ثم يستمر الدوران حتى حدوث التصدع الداخلي للمخروط الخرساني المحيط به . ويستفاد من هذا الاختبار في تقدير قيمة مقاومة الخرسانة في الموقع الغير معروف عمرها وتركيبها وبالاخص للعناصر النحيفة والتي لها سطح واحد معرض فقط والتي يتعذر فيها اجراء اختبار القلوب الخرسانية او اي طريقة اخرى حيث وجد ان دقة المقاومة المقاسة تتساوى لحد ما مع تلك المقاسة بالقلوب الصغيرة مع ميزة توفير الوقت والتكاليف.