الباب التاسع

الإختبارات غير المتلفة للخرسانة

Non-Destructive Testing of Concrete

٩-١ الهدف والمجال Scope

تهدف الإختبارات غير المتلفة للخرسانة إلى إختبار العضو الخرسانى دون حدوث أى تلف أو إنهيار به. وتتنوع الإختبارات تبعاً لنظرية إجرائها ومن أهم طرق هذه الإختبارات ما يلى:

١- طرق الإشعاع
٢- طرق الصلادة وتشمل نوعين من الإختبار:
أ - الإختبار بطريقة العلامة
ب- الإختبار بطريقة الإرتداد
٣- طرق النبضات
٤- طرق الرنين

❐ أهم تطبيقات الإختبارات غير المتلفة

١- أختبار مقاومة الضغط للخرسانة المتصلدة.
٢- إختبار صلادة السطح.
٣- تحديد أماكن حديد التسليح.
٤- كشف الشروخ الداخلية وتحديد أماكنها وأتساعها.
٥- تعيين محتوى الرطوبة.
٦- تعيين الكثافة.
٧- قياس معاير المرونة للخرسانة.

وتعتبر إختبارات مقاومةالضغط من أهم الإختبارات التى تساعد المهندس الإنشائى فى كتابة تقرير هندسى عن حالة مبنى قائم.

❐ أسباب اللجوء لهذه الإختبارات

١- عدم إجراء إختبارات مقاومة الضغط للخرسانة.
٢- عند وجود مشكلة بالمنشأ - مثل ظهور شروخ وتصدعات.
٣- عدم إلتزام المقاول ببعض التعليمات مثل فك الشدات المبكر والصب دون إشراف هندسى.

٤- عدم قيام المقاول بإتمام أعمال المعالجة للخرسانة.
٥- عند الشك فى نوع الأسمنت المستخدم.
٦- ورود نتائج إختبارات مقاومة الضغط غير مطابقة للمقاومة المطلوبة وقد يكون ذلك نتيجة ضعف الخرسانة أو نتيجة أسباب أخرى مثل:

- طريقة أخذ مكعبات الخرسانة.
- طريقة وضع المكعب فى الماكينة ومعدل توقيع الحمل على العينة.
- سقوط المكعب أثناء المناولة.
- فك المكعب قبل مرور ٢٤ ساعة.
- كسر المكعبات قبل مرور المدة المطلوبة (٧ أو ٢٨ يوم).
- ترك المكعبات دون معالجة حتى تاريخ الإختبار.
- عدم تجانس خرسانة المكعب (أثناء أخذها).
- تكسير أحرف المكعب عند فك القوالب نتيجة عدم إستخدام مادة عازلة.

❐ أهم الإختبارات الشائعة الإستعمال فى مجال إختبارات الخرسانة

١- إختبار مطرقة شميدت	Schmidt Hammer
٢- إختبار قياس سرعة النبضات	Ultrasonic Puls Velocity
٣- إختبار القلب الخرسانى (نصف متلف)	Core Test
٤- إختبار التحميل للعناصر الإنشائية	Loading Test

٩-٢ مطرقة شميدت Schmdit Hammer

تستخدم مطرقة شميدت لتعيين رقم الإرتداد Rebound Number حيث يعتمد عمل الجهاز على النظرية التى تنص على أن قوة إرتداد كتلة مرنة يعتمد على قوة السطح الذى تصطدم به. ويستخدم رقم الإرتداد هذا فى الإسترشاد عن القيمة التقريبية لمقاومة الضغط للخرسانة.

❐ مميزات مطرقة شميدت

١- جهاز صغير الحجم يمكن إستعماله فى المواقع وحمله فى اليد.
٢- يعطى نتائج سريعة لمقاومة الضغط وسهل الإستعمال.
٣- لا يسبب تلف للخرسانة.
٤- جهاز لا يتطلب إحتياطات معقدة.
٥- أرخص الأجهزة المستخدمة لهذا الغرض.
٦- يتحمل العمل الشاق فى جو التنفيذ مقارنة بالأجهزة الأخرى.
٧- سهولة معايرته من وقت لآخر.

❐ طريقة عمل الجهاز

١- بالضغط الخفيف على زرار بالجهاز تخرج الرأس المتحرك Plunger.
٢- يوضع الجهاز عموديا على المكان المراد إختباره ثم يضغط الجهاز فتنزلق الرأس إلى داخل لجهاز وقبل إختفائها ينفك الشاكوش ويحدث طرقة على الرأس (صدمة).
٣- عند حدوث الصدمة يجب أن يكون الجهاز عمودياً تماماً على السطح المختبر ولا يُلمس الزرار Button الموجود على الجهاز.
٤- عند الاصدام يرتد الشاكوش الطارق بمقدار يتناسب مع صلادة السطح المختبر محركاً مؤشر يتحرك على مقياس لتعيين قيمة الإرتداد.
٥- يُنقل الجهاز إلى نقطة أخرى وتُكرر العملية.
٦- بعد إنتهاء العمل يُعاد الجهاز إلى وضعه الأصلى بجعل الرأس داخل الجهاز.

❐ أنواع الأجهزة

تختلف الأجهزة من حيث قراءة رقم الإرتداد إلى نوعين كما فى شكل (٩-١):
أ - أجهزة تقرأ النتيجة على تدرج بجسم الجهاز.
ب - أجهزة مزودة بأداة تسجيل للقراءة على شريط ورقى.

يفضل النوع الثانى للأسباب الآتية:
١- يمكن لشخص واحد إستخدامه حيث أن تسجيل القراءة يتم أوتوماتيكيا.
٢- يعتبر أسهل فى الإستخدام و يمكن الرجوع إلى التسجيل البيانى للقراءة فى أى وقت.
٣- منع التلاعب أثناء إستخدام الطريقة الأولى عند تدوين القراءة بواسطة شخص آخر غير الذى يقوم بأخذ القراءات.
٤- نسبة الخطأ أقل من الحالة الأولى.

❐ طريقة الإختبار وإعداد النتائج

١- تحدد مساحة على العضو الإنشائى فى حدود ٣٠ × ٣٠ سم.
٢- يؤخذ عدد من القراءات حوالى ١٥ قراءة موزعة داخل المساحة.
٣- لا تقل المسافة بين كل قرائتين عن ٢,٥ سم.
٤- يعمل كروكى للجزء المراد إختباره وتحدد عليه مواقع النقط.
٥- لكل نقطة على حدة يحسب متوسط رقم الإرتداد وتحذف القراءات الشاذة بحيث لا يزيد الفرق بين أى رقم إرتداد و المتوسط عن ٥ وحدات. ويعتبر رقم الإرتداد مقبول إذا كان ثلثى القراءات لا تنحرف عن المتوسط بمقدار $\pm$ ٢,٥ وحدة.
٦- يتم تحويل رقم الإرتداد المتوسط الخاص بكل نقطة إلى مقاومة ضغط نيوتن/مم^2 أو كج/سم^2 بإستخدام جدول (٩-١) أو شكل (٩-٢).
٧- توضع النتائج الخاصة بجميع النقط فى جدول وتحسب مقاومة الضغط المتوسطة للخرسانة بحيث لا يزيد معامل الإختلاف لمفردات مقاومة الضغط عن ١٥%.

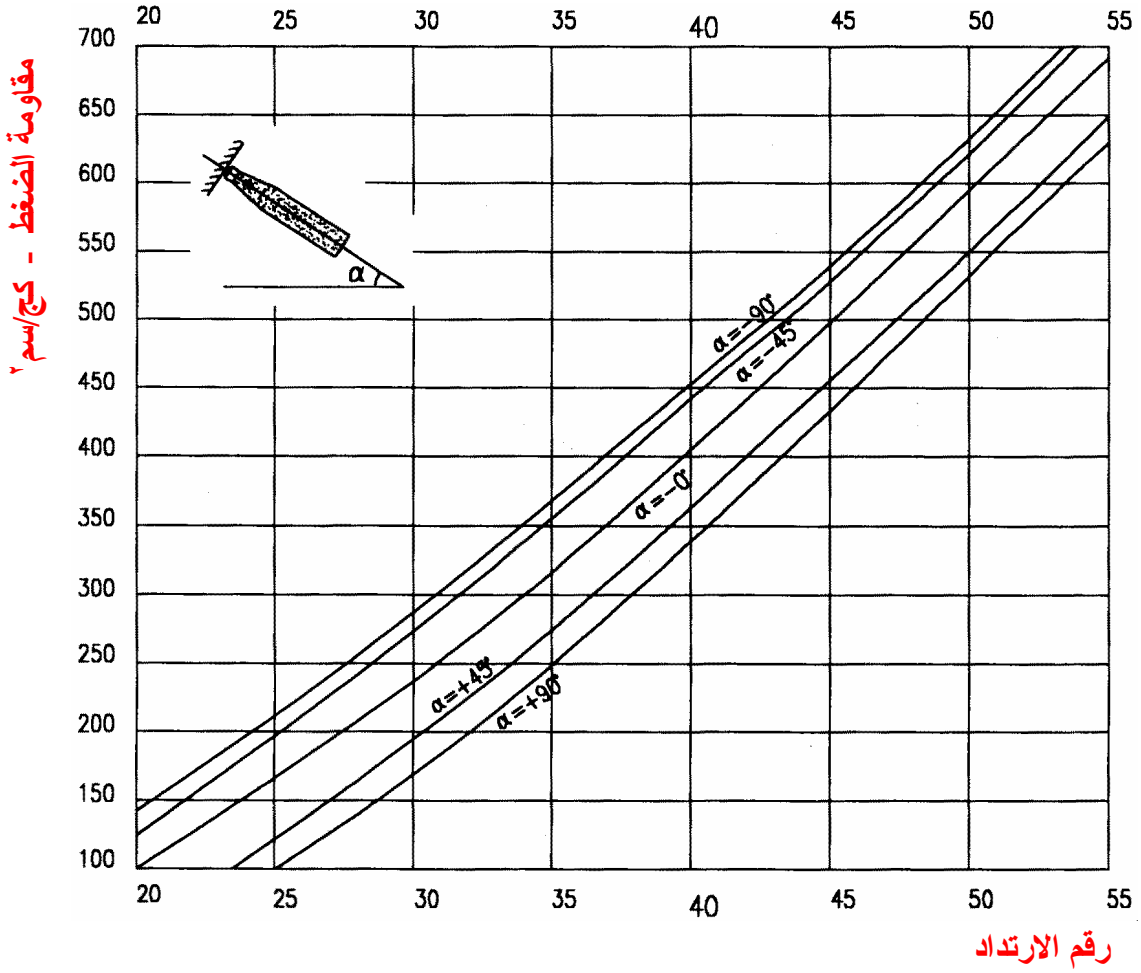
(أ) مطرقة عادية.

(ب) مطرقة مزودة بشريط ورقى لكتابة النتائج.

شكل (٩-١) الأشكال الشائعة من مطرقة شميدت.

جدول (٩-١) مقاومة الضغط بدلالة رقم إرتداد المطرقة (R) .

R	عمر الخرسانة ١٤ - ٥٦ يوم				عمر الخرسانة ٧ أيام			
	القيمة المتوسطة		أقل قيمة محتملة		القيمة المتوسطة		أقل قيمة محتملة	
	kg/cm²	MPa	kg/cm²	MPa	kg/cm²	MPa	kg/cm²	MPa
20	101	9.9	54	5.3	121	11.9	74	7.3
21	113	11.1	64	6.3	132	12.9	83	8.1
22	126	12.4	75	7.4	145	14.2	94	9.2
23	139	13.6	86	8.4	157	15.4	104	10.2
24	152	14.9	98	9.6	169	16.6	115	11.3
25	166	16.3	110	10.8	183	18.0	127	12.5
26	180	17.7	122	12.0	196	19.2	136	13.3
27	195	19.1	135	13.2	210	20.6	150	14.7
28	210	20.6	149	14.6	225	22.1	164	16.1
29	225	22.1	163	16.0	239	23.4	177	17.4
30	241	23.6	176	17.3	254	24.9	191	18.7
31	257	25.2	193	18.9	269	26.4	205	20.1
32	274	26.9	209	20.5	285	28.0	220	21.6
33	291	28.5	225	22.1	300	29.4	234	23.0
34	307	30.1	240	23.5	315	30.9	248	24.3
35	324	31.8	256	25.1	331	32.5	263	25.8
36	342	33.6	273	26.8	348	34.1	279	27.4
37	360	35.3	290	28.4	365	35.8	295	28.9
38	377	37.0	307	30.1	381	37.4	311	30.5
39	395	38.7	324	31.8	398	39.0	327	32.1
40	413	40.5	341	33.5	416	40.8	344	33.7
41	432	42.4	359	35.2	434	42.6	361	35.4
42	450	44.1	377	37.0	451	44.2	378	37.1
43	469	46.0	395	38.7	470	46.1	396	38.8
44	488	47.9	414	40.6	488	47.9	414	40.6
45	507	49.7	432	42.4	507	49.7	432	42.4
46	526	51.6	451	44.2	526	51.6	451	44.2
47	546	53.5	470	46.1	546	53.5	470	46.1
48	565	55.4	489	48.0	565	55.4	489	48.0
49	584	57.3	508	49.8	584	57.3	508	49.8
50	604	59.3	527	51.7	604	59.2	527	51.7
51	623	61.1	546	53.6	623	61.1	546	53.6
52	643	63.1	565	55.4	643	63.1	565	55.4
53	663	65.0	584	57.3	663	65.0	584	57.3
54	683	67.0	593	58.2	683	67.0	603	59.2
55	703	69.	622	61.0	703	69.0	622	61.0



شكل (٩-٢) العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الإرتداد (R) .

❐ زاوية ميل الجهاز

تمت معايرة هذه الأجهزة على الوضع الأفقى أى لإختبار أسطح رأسية مثل الحوائط والأعمدة وبذلك أعتبرت زاوية ميل الجهاز بالنسبة للمستوى الأفقى $\alpha = 0$ (شكل ٩-٣).

يمكن أستخدام الجهاز للأسطح المائله بزاوية ٤٥ $\alpha = \pm 45^{\circ}$

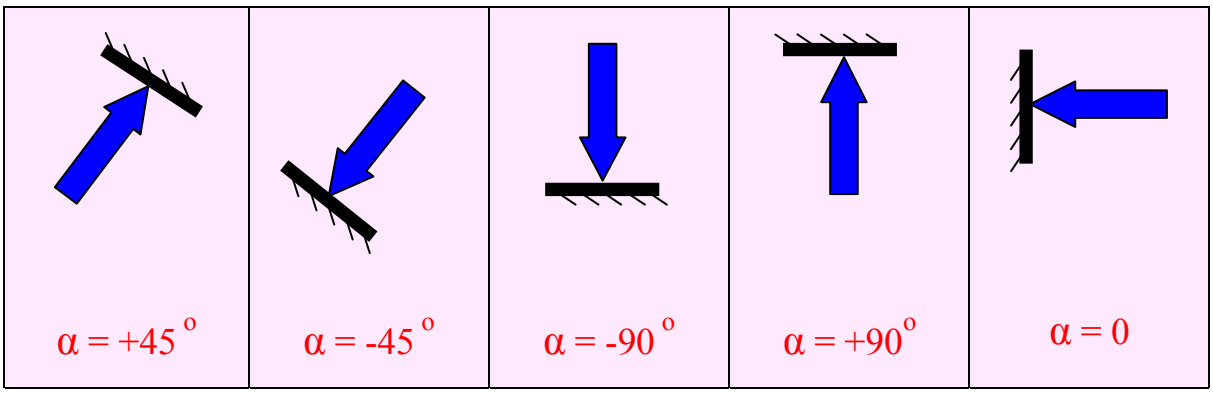
أوفى الوضع رأسيا لإختبار الأسقف $\alpha = +90^{\circ}$

أو الأرضيات وفى هذه الحالة $\alpha = -90^{\circ}$

يتم تصحيح القراءات طبقا للمنحنيات المناسبة (شكل ٩-٢) أو جدول (٩-٢).
فى حالة الزوايا الموجبة يتم التصحيح بطرح بعض القيم من قراءة المؤشر نتيجة تأثير الجاذبية الأرضية أما فى حالة الزوايا السالبة فيتم التصحيح بإضافة بعض القيم الى قراءة المؤشر.

جدول (٩-٢) التصحيح الخاص بزاوية ميل مطرقة الإرتداد .

رقم الإرتداد (R)	التصحيح الخاص بتأثير زاوية ميل المطرقة			
	لأعلى ↑		لأسفل ↓	
	$+90^{o}$	$+45^{o}$	-45^{o}	-90^{o}
10			+ 2.4	+ 3.2
20	- 5.4	- 3.5	+ 2.5	+ 3.4
30	- 4.7	- 3.1	+ 2.3	+ 3.1
40	- 3.9	- 2.6	+ 2.0	+ 2.7
50	- 3.1	- 2.1	+ 1.6	+ 2.2
60	- 2.3	- 1.6	+ 1.3	+ 1.7



شكل (٩-٣) إستخدام المطرقة بزوايا مختلفة.

❐ إحتياطات عامة عند إجراء الإختبار

١- أن يكون الجهاز المستخدم معاير قبل الإستخدام.
٢- يكون السطح المختبر نظيف خالى من التعشيش أو المسامية.
٣- يكون السطح خالى من النتوءات وبعيد عن أماكن أعمال الخرسانة.
٤- تنظف الأسطح المختبرة باحجار الكاربورندوم المزودة مع الجهاز.
٥- لا توضع مقدمة الجهاز على زلط أو حديد تسليح فى الخرسانة المتصلدة.
٦- تزال أى مونة أو طبقات بياض قبل إجراء الإختبار وينظف مكان أخذ القراءات.
٧- فى حالة الأسطح الأفقية تزال طبقة الخرسانة الضعيفة (الجزء الزائد بالماء نتيجة النضح).
٨- فى حالة الخرسانة القديمة يتم إزالة السطح المتصلد لمسافة واحد سنتيمتر بواسطة صاروخ يدوى ذو قرص حوالى ١٢,٥ سم حيث أن هذه الطبقة لا تمثل الخرسانة.
٩- حيث أن الخرسانة تكون أكثر دمكا فى الأجزاء السفلية من العضو الإنشائى فيتم أختبار النقط فى المناطق العلوية.
١٠- يفضل إستخدام الأسطح الرأسية لإجراء الإختبارات - أعمدة - حوائط خرسانية - جوانب كمرات - جوانب قواعد.
١١- فى حالة الأعضاء النحيفة (أسقف ١٠ سم - أعمدة ١٥ سم) تؤخذ إحتياطات خاصة حيث أن مرونة هذه الأعضاء قد تؤثر على رقم الإرتداد.
١٢- الأسطح المبلله: قد نضطر الى إستخدام الجهاز فى حالة الأسطح المبللة وذلك فى الأماكن القريبه من مصادر المياه (مثل دورات المياه) وفى المنشآت المائية وكذلك فى أحواض السباحة. وفى هذه الحالة فإن المطرقة تعطى نتائج مضللة تقل بحوالى ٣٠% عن القيمة الحقيقية. ولذلك تستخدم جداول خاصة بالتصحيح (أو إجراء إختبارى مطرقة شميدت وسرعة النبضات معاً).

❐ معايرة الجهاز

يتم معايرة الجهاز فى الحالات الآتية :
١- عند تغيير نوع الركام المستخدم (دولوميت - بازلت - جرانيت - حجر جيرى)
٢- يتم معايرة الجهاز كل ٢٠٠٠ صدمة على الأكثر.
٣- كل فترة زمنية وعند ترك الجهاز مدة دون إستعمال.
٤- بعد عمل أى صيانة للجهاز.

❐ مصادر الأخطاء

١- إستخدام ركام مختلف
٢- الأجزاء النحيفة
٣- وجود فراغات وتعشيش
٤- الخرسانة الرطبة حديثة الصب سطحها أقل صلادة من داخلها (رقم إرتداد أقل من الحقيقة).
٥- الخرسانة الجافة القديمة سطحها أكثر صلادة من داخلها ويكون رقم الإرتداد اكبر من حقيقته.

٩-٣ الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Pulse Velocity

❐ الفكرة العامة

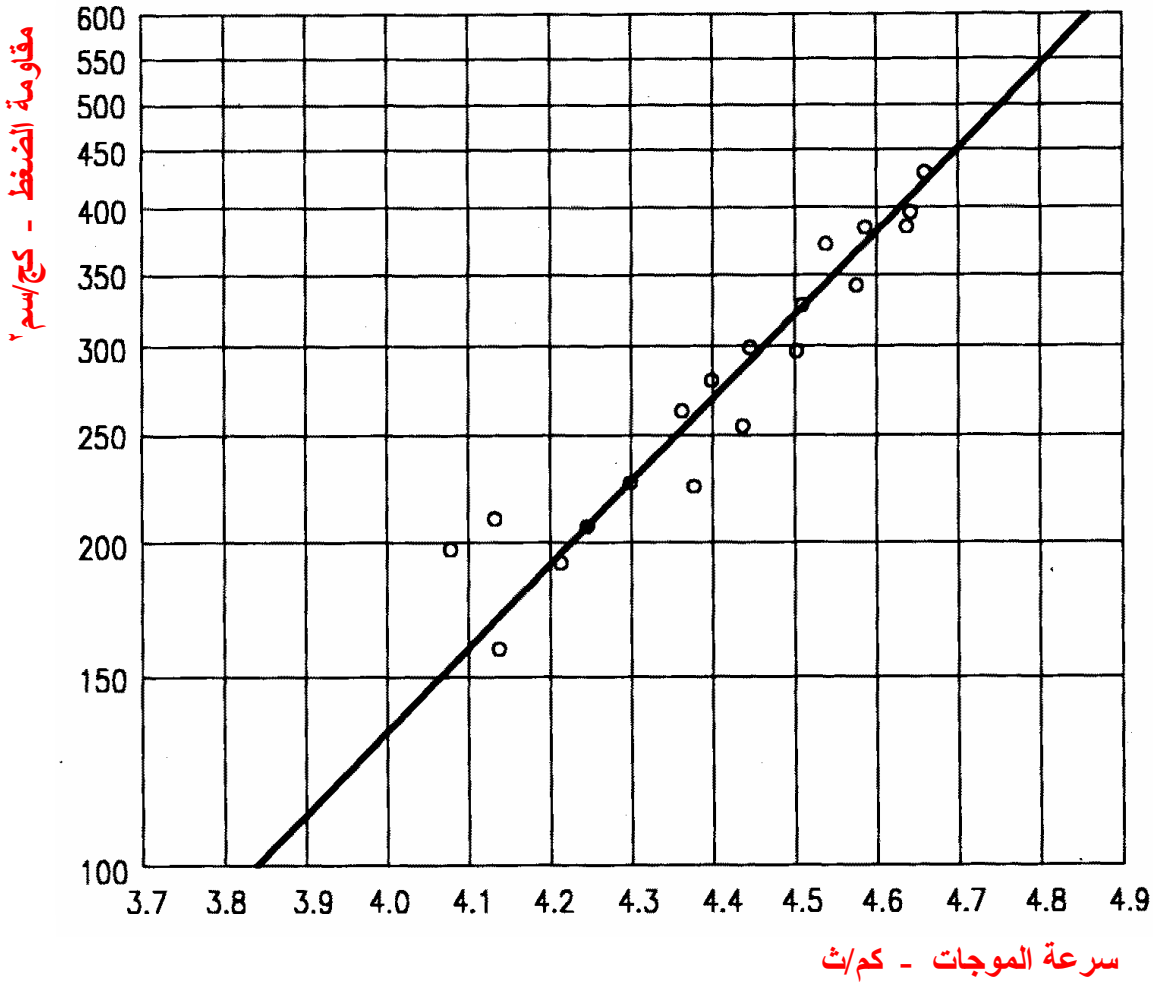
فى هذه الطريقة يتم إحداث نبضات عبارة عن موجات فوق صوتية لتسرى خلال الجزء المختبر ويتم تعيين زمن إنتقالها. حيث وجد أن سرعة النبضات خلال جسم صلب يعتمد على كثافة المادة المختبرة وخواص المرونة لها.

❐ إستخدامات طريقة الموجات فوق الصوتية

تستعمل هذه الطريقة (شكل ٩-٤) فى مجال الخرسانة لإستنتاج الآتى:

١- قيمة مقاومة الخرسانة للضغط.
٢- قياس معاير المرونة للخرسانة.
٣- مدى تجانس الخرسانة.
٤- إكتشاف الشروخ والفجوات بالخرسانة.
٥- تحديد درجة تلف الخرسانة.
٦- قياس عمق طبقة الخرسانة.
٧- مراقبة تطور قيم مقاومة الخرسانة للضغط.

شكل (٩-٤) جهاز الموجات فوق الصوتية الشائع الإستخدام فى مجال الخرسانة.



شكل (٩-٥) العلاقة بين سرعة الموجات و مقاومة الضغط.

❐ طريقة إجراء الإختبار

١- يتطلب إجراء هذا الإختبار كفاءة عالية.
٢- إستخدام أجهزة لإنتاج نبضات مناسبة مع المادة.
٣- يتم ضبط الجهاز مع جزء المعايرة المرفق مع الجهاز قبل بدء الإختبار على العينة.
٤- يتم قياس المسافة التى تسيرها النبضات Path Length بدقة (أى طول السير).
٥- يوضع المرسل Transmitter والمستقبل Receiver على العينة وأن يكون الإتصال تام بين سطحى المرسل والمستقبل وسطح العينة (يستخدم لهذا الغرض الشحم أو عجينة الجلسرين أو الصابون السائل).
٦- عند وضع المرسل والمستقبل على العينة يستمر هذا الوضع حتى تثبت القراءة وإذا تأرجحت النتائج بين قرائتين يؤخذ المتوسط.
٧- يكون الرقم معبراً عن الوقت T لسريان النبضات خلال الجزء المختبر.
٨- تكون سرعة النبضات (V) كالآتى:

$$V = L / T \quad km/sec.$$

L = Length طول المسار المقاس
T = Transit Time زمن إنتقال الموجة

٩- يستخدم منحنى المعايرة الخاص (شكل ٩-٥) لإيجاد مقاومة ضغط المكعب المكافئ. وقد وضع هذا المنحنى على أساس إختبار مجموعة كبيرة من العينات ذات المقاومة المختلفة وتم قياس سرعة النبضات فى كل حالة. دقة النتائج تتراوح بين ± ٢٠% من القيمة الفعلية لمقاومة الضغط.

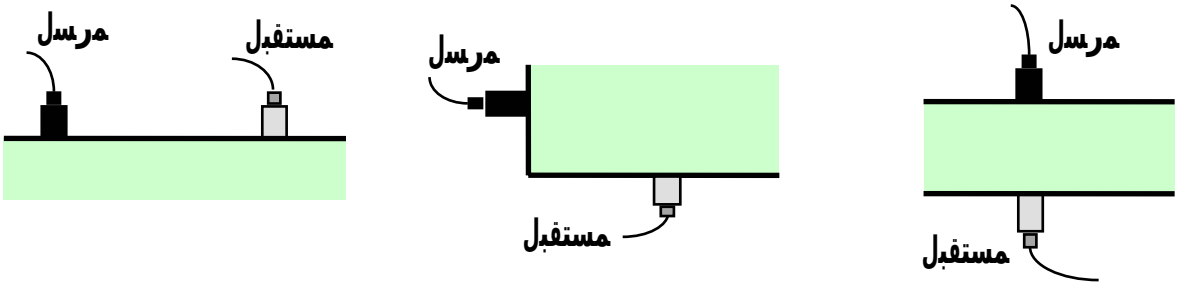
❐ وضع المرسل والمستقبل Transducers Arrangement

توجد ثلاث طرق لوضع المرسل والمستقبل كما بشكل (٩-٦) هى:

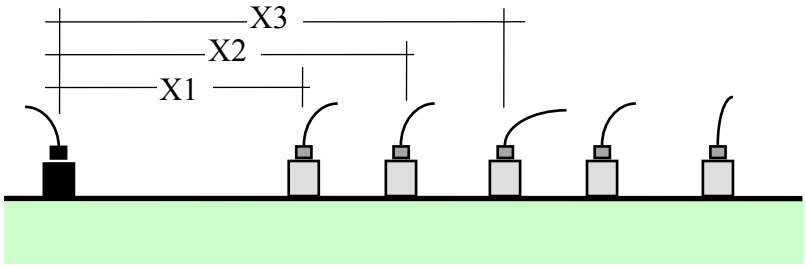
١- فى إتجاهين متضادين (قياس مباشر) Direct Transmission
٢- فى الجوانب المجاورة (قياس نصف مباشر) Semi-direct Transmission
٣- فى نفس السطح (قياس غير مباشر) Indirect Transmission

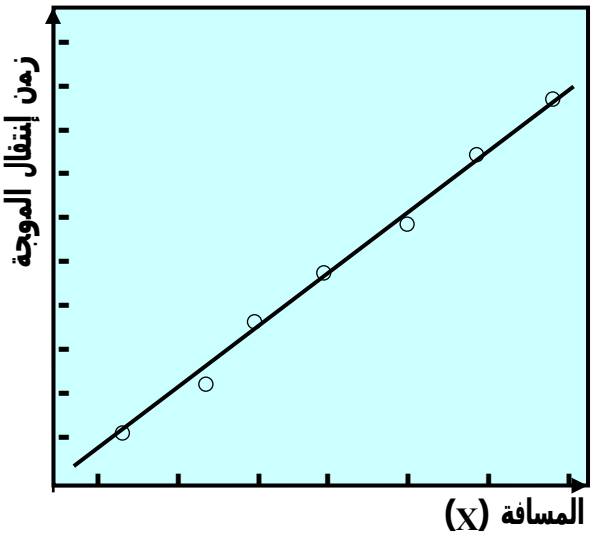
تستخدم الطريقة الأولى فى حالة إمكانية وضع المرسل والمستقبل بهذا الوضع ويمثل ذلك أفضل وضع. أما فى الطريقة الثانية فيتم الإنتقال على طول السطح وذلك فىحالة إمكانية الوصول الى سطح واحد فقط من العنصر المختبر. وفى هذه الحالة تكون العملية أقل كفاءة من السابق لأن أكبر طاقة تتجه إلى داخل الخرسانة.

والطريقة الغير مباشرة لا تعطى معلومات عن الخرسانة الضعيفة والتى تكون تحت السطح القوى المتصلد كما أن تحديد طول المسار أقل دقة وقد وجد أن السرعة فى هذه الحالة أقل من الحالة المباشرة شكل (٩-٧).



شكل (٩-٦) الأوضاع المختلفة للمرسل والمستقبل.





العلاقة بين زمن إنتقال الموجة والمسافة (X) فى القياس غير المباشر

شكل (٩-٧) الإستخدام غير المباشر على طول السطح المختبر.

❐ العوامل المؤثرة على النتائج

١ـ نسبة الرطوبة

العينات المشبعه تعطى نتائج أعلى من العينات الجافة (عكس إختبار مطرقة شميدت ولهذا أمكن دمج الطريقتين معا) أنظر شكل (٩-٨).

٢ـ درجة الحرارة

درجات الحرارة العادية لا تؤثر على سرعة النبضات.

٣ـ نوع الركام

يتأثر زمن إنتقال النبضات بنوع الركام المستخدم وشكله وحجمة ونسبة الخلط لذلك يعمل منحنيات خاصه لكل نوع ركام على حده كما بشكل (٩-٩).

٤ـ تأثير درجة التصلد

الخرسانة التى وصلت لدرجة تصلد تعادل ٥٠% من قوتها لا تؤثر على سرعة سريان الموجات.

٥ـ تأثير طول المسار

لا يؤثر طول المسار على نتائج قياس سرعة النبضات مع ملاحظة أن لا يكون صغيراً جداً وإلا سيكون الوسط الغير متجانس للخرسانة ذات تأثير كبير. وقد وُجد أن سمك أكبر من ١٠٠ مم أو ١٥٠ مم مع إستخدام ركام من ٢٠ مم إلى ٤٠ مم يعتبر غير مؤثر على النتائج (شكل٩-١٠)

٦ـ تأثير عمر الخرسانه

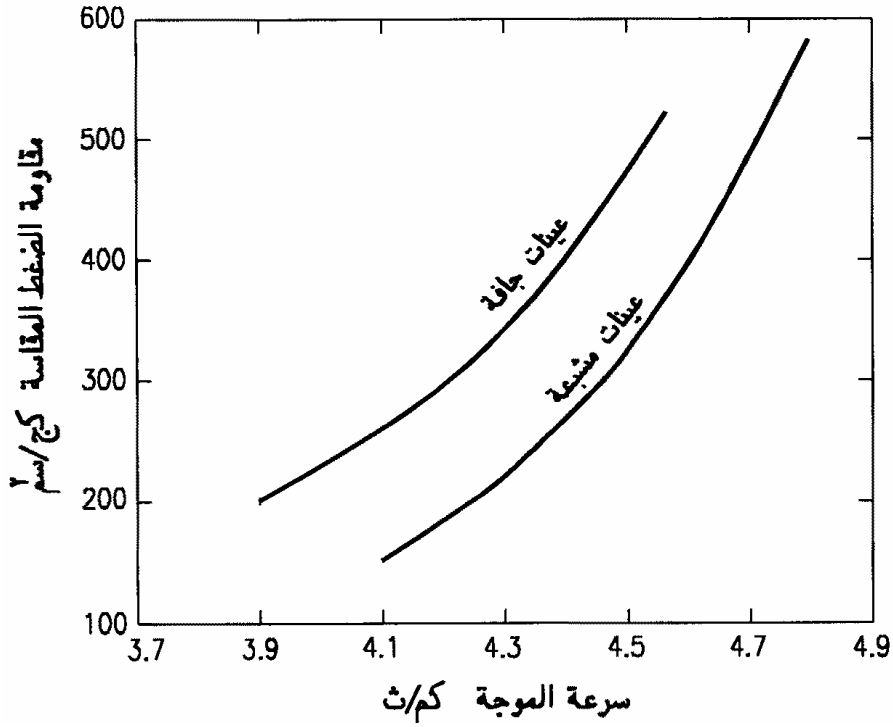
تتأثر سرعة الموجات بزيادة العمر حتى عمر ٧ أيام كما بشكل (٩-١١).

٧ـ تأثير حديد التسليح

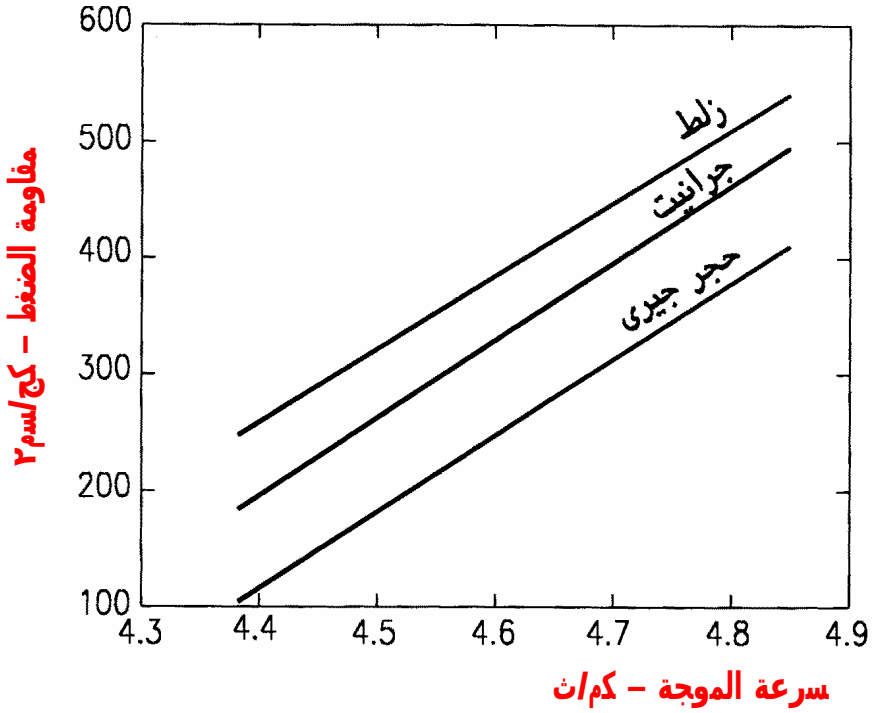
يفضل تفادى حديد التسليح إذا أمكن ذلك حيث أن له تأثير فىزيادة سرعة النبضات (سرعة النبضات فى الحديد ٥,٩ كم/ث). هذا وتوجد حالتين لوضع حديد التسليح بالنسبة لخط سريان النبضات.

الحالة الأولى أن يكون محور السيخ عمودى على مسار النبضات وفى هذه الحالة تتأثر القراءات بقطر الأسياخ التى تعترض مسارها ويتم تطبيق معامل تصحيح يعتمد على قطر الأسياخ بالخرسانة كما هو مبين بشكل (٩-١٢).

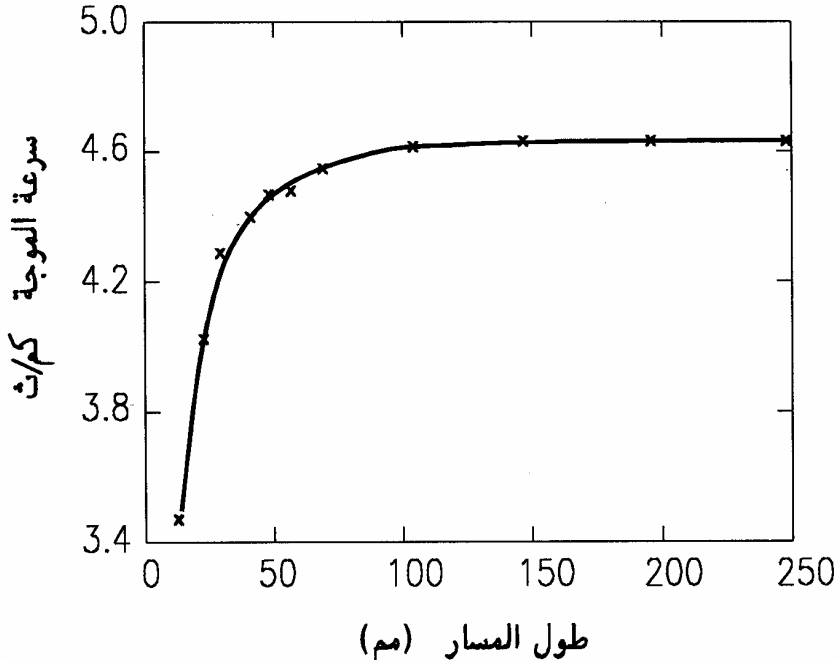
الحالة الثانية عندما يكون محور السيخ موازى لخط السريان فى هذه الحالة تخرج أول موجه وتتجه لتسير خلال السيخ فى المنطقة الموجود فيها. فى هذه الحالة يطبق معامل تصحيح كما مبين بشكل (٩-١٣).



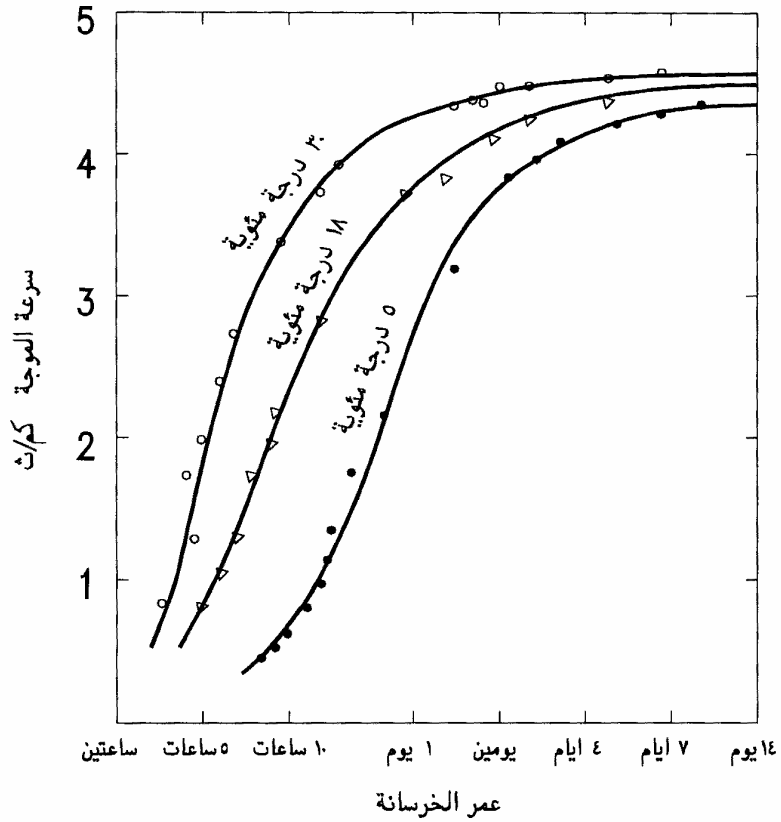
شكل (٩-٨) تأثير حالة رطوبة العينة على سرعة الموجات.



شكل (٩-٩) تأثير نوع الركام على نتائج الموجات.



شكل (٩-١٠) تأثير طول مسار الموجة.



شكل (٩-١١) تأثير عمر الخرسانة على نتائج الموجات.

إستعمالات أخرى

فيما يلى نذكر بإيجاز بعض الإستعمالات الأخرى لجهاز الموجات فوق الصوتية فى مجال الخرسانة

❐ قياس درجة التجانس فى الخرسانة

معامل الإختلاف للسرعات (V) يعطى دلالة عن حالة تجانس الخرسانة وقد أعتبر أن معامل إختلاف مقداره ١,٥ - ٢,٥ % يدل على أن الخرسانة جيدة وذلك فى حالة إجراء الإختبار على القلوب الخرسانية Core Sample ويعتبر الإختلاف من ٦ إلى ٩ % مناسب فى حالة إجراء الإختبار على العنصر الإنشائى ذاته.

❐ إكتشاف الشروخ والفجوات

تعتمد فكرة إستخدام الجهاز فى إكتشاف الشروخ والفجوات على حقيقة أن النبضات لا تسرى فى الفراغ فتسلك الموجه مساراً أطول وعليه تختلف السرعة. حيث أن زمن إنتقال النبضات يزيد نتيجة لوجود الشروخ ويمكن معرفة ذلك مقارنة بزمن الإنتقال خلال الخرسانة السليمة للتعرف على خواص وطبيعة الشرخ والفجوات بدقة ± ١٥%. كذلك يمكن قياس عمق الشرخ تقريبياً وذلك بإستخدام العلاقة والمنحنى الموضح فى شكل (٩-١٤).

❐ تحديد درجة تلف الخرسانة

تستعمل الموجات فى التعرف على درجة تلف الخرسانة الناتج من تأثير حريق أو عوامل كيمائية أو ميكانيكية وذلك بتحديد سرعة الموجات بالأجزاء السليمة من العنصر الإنشائى وإعتبار أن سرعة إنتقال الموجه خلال الطبقة التالفة مساوياً للصفر. وتحسب عمق الطبقة التالفة من العلاقة:

$$t = (T V_c - L)$$

حيث:

t = عمق الطبقة التالفة

V_c = السرعة الفعلية للموجات خلال الخرسانة

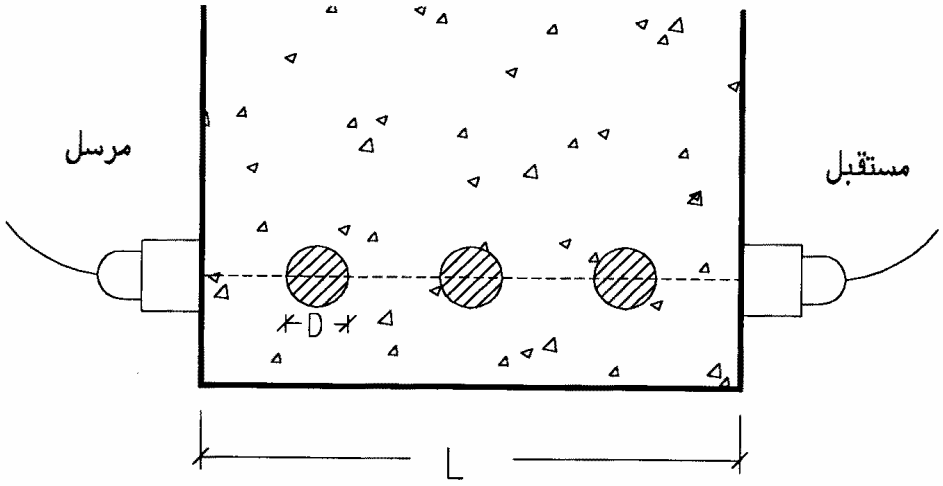
T = زمن إنتقال الموجة خلال الخرسانة الموجودة

L = طول مسار الموجه خلال الخرسانة

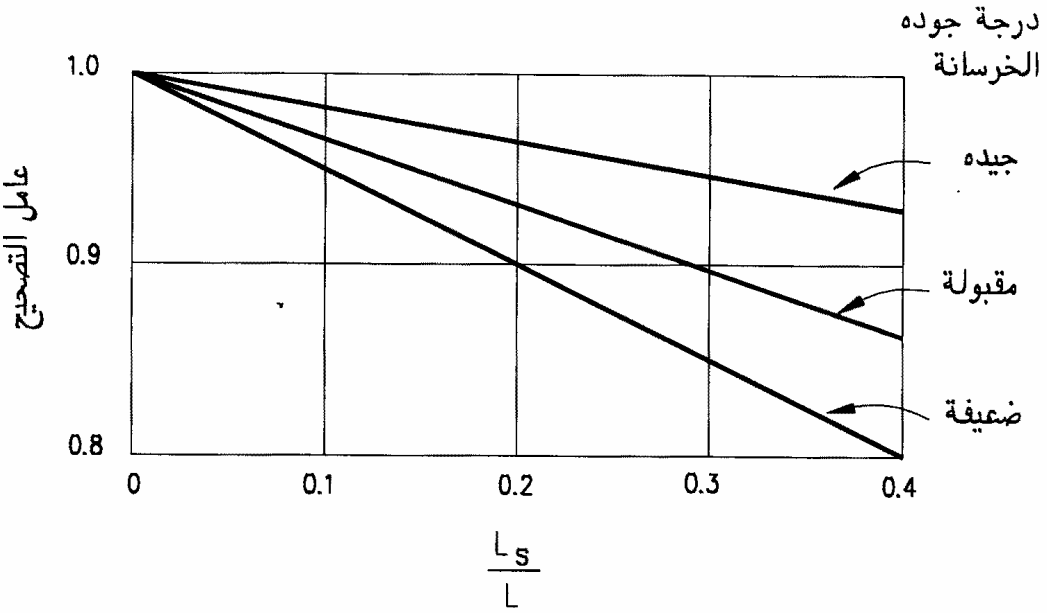
ونسبة الخطأ فى هذه العلاقة كبير فى حالة عدم الدقة فى القياس.

❐ قياس معايير المرونة

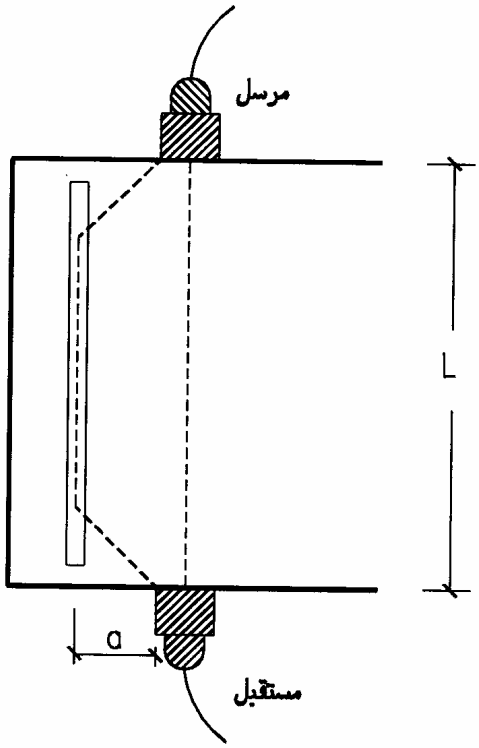
يستعمل جهاز الموجات فوق الصوتية أيضاً فى قياس معايير المرونة للخرسانة وذلك بإستخدام منحنيات تم معايرتها على خرسانات ذات قيم مختلفة لمعايير المرونة كما بشكل (٩-١٥).

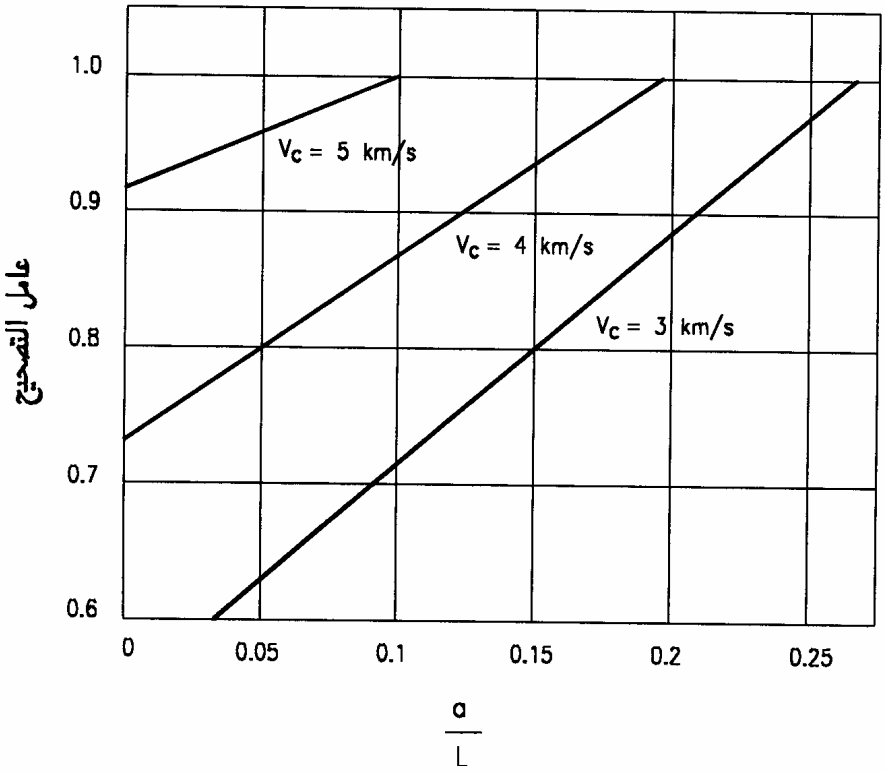


L_s = مجموع اقطار الاسياخ التى اعترضت مسار الموجة

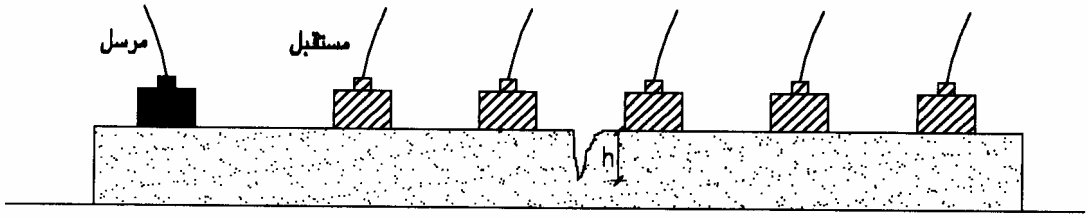


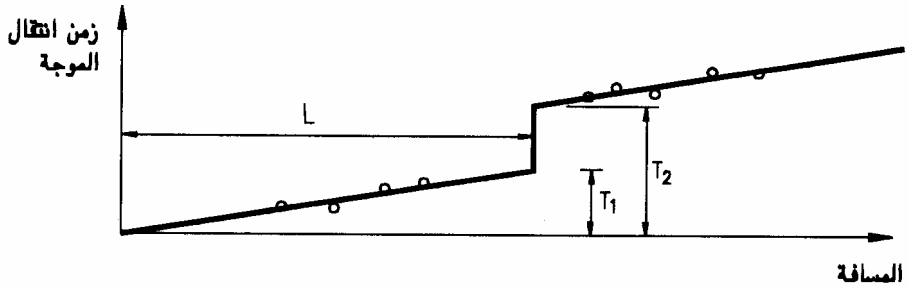
شكل (٩-١٢) تأثير حديد التسليح العمودى على إتجاه الموجات.



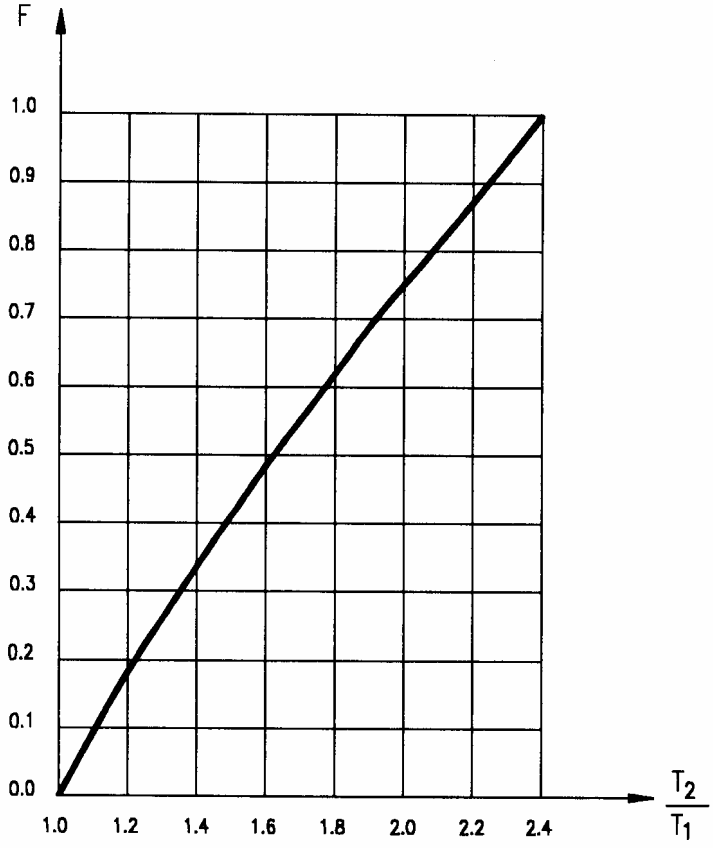


شكل (٩-١٣) تأثير حديد التسليح الموازى لإتجاه الموجات.



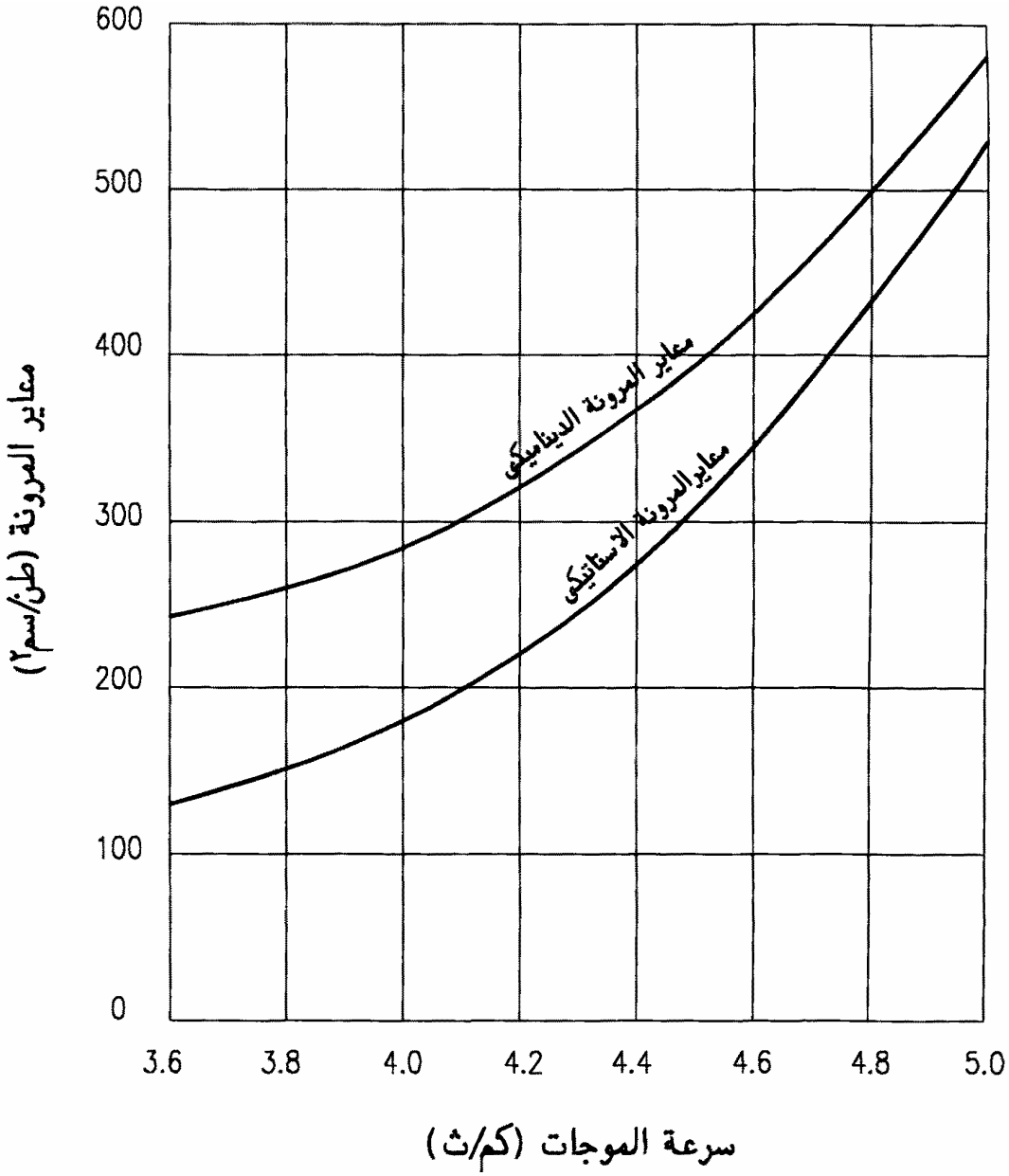


$$h = \frac{L}{2}\left(\frac{T_2}{T_1} - \frac{T_1}{T_2}\right) = F.L$$



$\frac{T_2}{T_1}$	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

شكل (٩-١٤) تحديد عمق الشرخ بإستخدام الموجات فوق الصوتية.

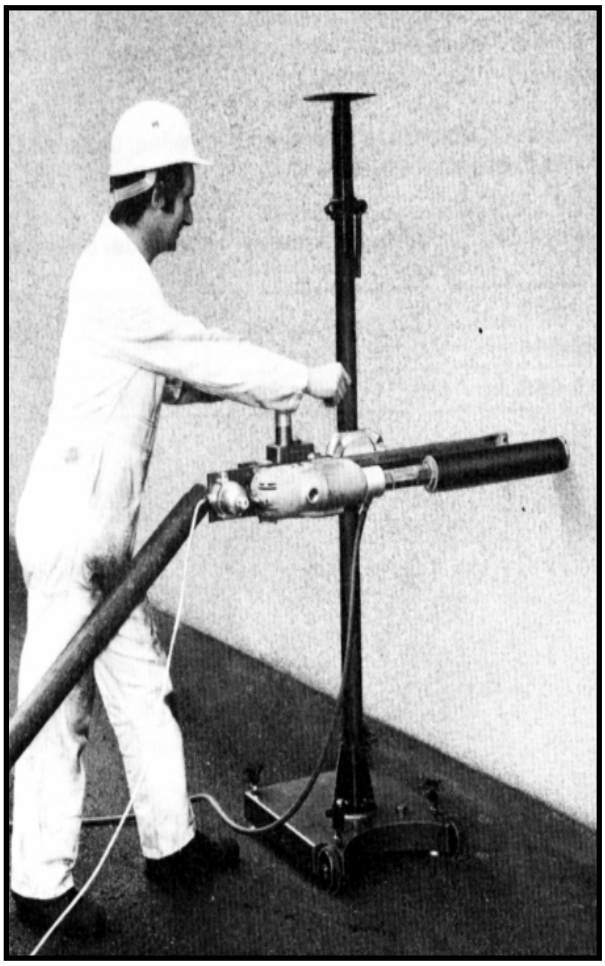


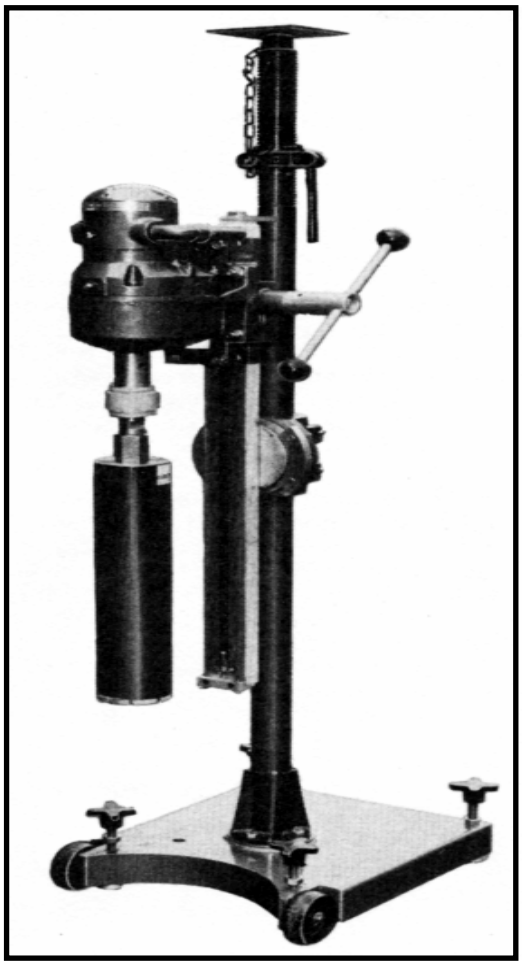
شكل (٩-١٥) قياس معاير مرونة الخرسانة بإستخدام الموجات فوق الصوتية.

٩-٤ إختبار القلب الخرسانى Core Test

يعتبر هذا الإختبار إختباراً نصف متلف ويستخدم لتعيين مقاومة الضغط للخرسانة بصورة حقيقية وواقعية ويكون ذلك بواسطة إختبار عينة منتزعة (القلب الخرسانى) من بعض الأعضاء الإنشائية الأساسية (عادة الأعمدة - الكمرات).

الجهاز عبارة عن مثقاب به آلة ثقب إسطوانية هى عبارة عن إسطوانات بأقطار مختلفة مزودة بفدية من سبيكة خاصة مخلوطة ببرادة الماس (ألماظة) ولها خاصية القطع فى الخرسانة اثناء دوران الإسطوانة بواسطة الجهاز الذى يعمل بالضغط الهيدروليكى (شكل٩-١٦).





شكل (٩-١٦) جهاز القلب الخرسانى و أخذ عينة أفقية من حائط.

حجم العينة Size of Core: يعتبر قطر العينة ١٥٠ مم هو القياسى إذا كانت الخرسانة من القوة بحيث لا تتأثر بالكسر أثناء إنتزاع العينة من الخرسانة. وقطر ١٠٠ مم هو الشائع الإستخدام. ولايقل قطر العينة عن ثلاثة أضعاف أكبر مقاس للركام بها. وتكون نسبة طول العينة إلى قطرها فى المدى من ١ إلى ٢ والنسبة المفضلة تكون من ١ إلى ١,٢ وعموماً فإن طول العينة يلزم أن لا يقل عن قطرها.

إستخراج العينة Drilling: يجب أن تستخرج العينة عمودية على السطح الموجود فيه ويدون رقم العينة ومكانها وإتجاه أخذها مباشرة. ويجب أن يملء مكان العينات المأخوذة وفقاً للأسس الفنية بمونة غير قابلة للإنكماش وذات مقاومة عالية لتجنب حدوث أى ضعف للعنصر تحت الإختبار. شكل (٩-١٧) يبين شكل مجموعة من القلوب الخرسانية المستخرجة قبل إعدادها للاختبار.

فحص العينة Examination: تفحص العينات لتحديد الآتى :

- درجة دمك الخرسانة .... وتصنف جيد / متوسط / ضعيف.
- حجم الفراغات والتعشيش وأماكن وجودها وإتجاهها وتحديد أسبابها وهل نقص فى المونة أو نقص فى الدمك أو أنفصال حبيبى. ويتم توصيف حجم الفراغات كالآتى:
صغيرة من ٠,٥ إلى ٣ مم ، متوسطة من ٣ إلى ٦ مم ، كبيرة إذا كان أكبر من ٦ مم.

- وصف الركام بالعينة (الحجم و النوع و حالة السطح و الشكل).
- توزيع الحبيبات الخرسانية.
- تركيز الركام بالنسبة للمونة.

قياس العينة Measurement:

- القطر المتوسط: يؤخذ القطر عبارة عن متوسط لعدد ٦ قراءات كل قرائتين عند مستوى واحد ومتعامدتين. إحدى القرائتين فى المنتصف وواحدة عند ١/٤ الإرتفاع من الناحيتين. وعموماً لاتختبر العينة التى يزيد التفاوت فى القطر لها عن ٣% أو التى يقل طولها عن قطرها.

- الطول: يقاس أكبر وأقل طول للعينه بعد إستخراجها و يقاس الطول بعد وضع الغطاء Cap على نهايتى العينه إلى أقرب ٥ مم. وفى العينات التى يزيد طولها عن ضعف قطرها فتقطع الزيادة فى الطول عمودياً على محور العينة قبل إختبارها وقبل تجهيز نهايتيها.

- التسليح Reinforcement: يقاس موضع أى حديد تسليح موجود بالعينة وذلك بقياس المسافة من محور السيخ حتى النهاية القريبة للعينه حتى أقرب ٢مم. وإذا وجد أكثر من سيخ فتحدد المسافات بين أسياخ حديد التسليح.

تجهيز سطح العينة (نهايتى القلب) End Preparation

- يتم تجهيز السطح حتى يكون مستوياً تماماً وأفقياً لإستخدامه فى ماكينة الإختبار ويتم ذلك أما بنشر نهايتى العينة أو تجليخهما أو بعمل غطاء Cap بسمك قليل لايزيد عن ١٠مم كما بشكل (٩-١٨) (يلاحظ أن لا ينكسر قبل إنهيار العينه عند إختبارها للضغط) بإحدى المون الآتية:

١- مونة الأسمنت والرمل بنسبة ٣ إلى ١

تتكون هذه المونة من ثلاثة أجزاء من الأسمنت الألومينى أو الأسمنت فائق النعومة مع جزء واحد من الرمل الناعم الذى يمر من منخل ٠,٣ مم. تصب هذه المونة بوضع حلقة مستوية وأفقية حول العينة ثم تصب المونة ويسوى سطحها ويوضع فوقها قطعة مسطحة من الزجاج المستوى (سمك ٨مم) أو من الحديد بعد دهانها بالزيت وفى اليوم الثانى تكرر العملية للطرف الآخر من العينة.

٢- مونة الكبريت والرمل بنسبة ١ إلى ١

تتكون هذه المونة من جزئين متساويين بالوزن من الكبريت والرمل الناعم الذى يمر من منخل ٠,٣ مم و يحجز على منخل ٠,١٥ مم وذلك مع نسبة من الكربون الأسود مقدارها ١ : ٢ %. يسخن الخليط لدرجة حرارة ١٣٠ - ١٥٠ مº ثم تترك لتبرد ببطء مع التقليب المستمر. يصب الخليط على مستوى أفقى من الحديد الأملس المدهون سطحه بزيت البرافين. توضع العينة فوق المونة رأسيا تماما بعد عدة ثوان يزال الجزء الزائد حول العينة من المونة ثم ترفع العينة وتكرر العملية بسرعة للطرف الآخر.

شكل (٩-١٧) مجموعة من القلوب الخرسانية المستخرجة.

شكل (٩-١٨) عمل غطاء لأطراف القلب الخرسانى.

إجراء الإختبار

- يتم إجراء الإختبار مباشرة بعد إستخراج العينات من الماء (أى بعد وضعها فى الماء لمدة لا تقل عن ٤٨ ساعة) وهى مبللة.
- ينظف مكان العينة بالماكينة وأسطح العينة من أى أتربة أو عوالق.
- توضع العينة رأسياً تماماً فى محور الماكينة.
- لا توضع أى قطع مساعدة أعلى العينة.
- يؤثر الحمل على العينة بمعدل منتظم يتراوح بين ٢ : ٤ كج/سم^{٢}/ثانية ويستمر حتى حدوث الكسر.
- يتم عمل وصف لحالة الإنهيار.

حساب النتائج

يتم حساب مقاومة الضغط لعينات القلب الخرسانى و تقديرها لنتائج مكعبات الموقع كما جاء بالمواصفات القياسية المصرية رقم ١٦٥٨-١٩٩٥ كما يلى:

أولاً: تحسب مقاومة الضغط لكل عينة بقسمة أقصى حمل تتحمله العينة على مساحة مقطع العينة وتقرب النتيجة إلى أقرب ٥ كج/سم٢.

$$f_c = P / A$$

حيث A هى المساحه المحسوبة من القطر المتوسط ، P هى حمل الكسر.

ثانياً: يتم حساب الإجهاد المقدر لنتائج مكعبات الموقع وذلك بعمل التصحيح الخاص بالتأثيرات الآتية:

- تأثير نسبة (الإرتفاع/القطر).
- تأثير إتجاه أخذ العينة بالنسبة لإتجاه الصب.
- تأثير وجود حديد تسليح بالعينة.

حيث نحصل على الإجهاد المقدر لنتائج مكعبات الموقع وذلك بضرب قيمة f_c المحسوبة سابقاً فى معاملى التصحيح (أ) ، (ب) أو أحدهما حسب ما تتطلبه حالة القلب الخرسانى المختبر كما سيتم توضيحه فيما بعد.

تأثير كل من نسبة (الإرتفاع/القطر) ، وإتجاه أخذ العينة

$$\text{عامل التصحيح (أ)} = \frac{\text{د}}{\text{١,٥ +(ق/ع)}}$$

حيث (د) مقدار ثابت

= ٢,٥٠ للعينات التى تقطع ويكون محورها عمودى على إتجاه الصب مثل الأعمدة والحوائط.

= ٢,٣٠ للعينات التى تقطع ويكون محورها فى إتجاه الصب مثل البلاطات والأرضيات.

(ق/ع) هى النسبة بين قطر العينة و إرتفاعها.

والجدول الآتى يوضح بعض القيم لعامل التصحيح (أ).

نسبة إرتفاع العينة على قطرها	عامل التصحيح (أ)	
١/ (ق/ع)	أعمدة وحوائط	بلاطات وأرضيات
١	١,٠	٠,٩٢
١,٢	١,٠٧١	٠,٩٨
١,٤	١,١٢٩	١,٠٤
١,٦	١,١٧٦	١,٠٨
١,٨	١,٢١٦	١,١٢
٢	١,٢٥٠	١,١٥

تأثير وجود حديد تسليح عمودى على محور العينة

١ـ حالة وجود سيخ واحد:

$$\text{عامل التصحيح (ب)} = ١,٠ + ١,٥ \frac{\text{ق ح} \times \text{س}}{\text{ق} \times \text{ع}}$$

حيث:

ق ح هى قطر سيخ الحديد.
س المسافة بين محور سيخ الحديد والنهاية القريبة للعينة.
ق قطر عينة القلب الخرسانى.
ع إرتفاع عينة القلب الخرسانى بعد إعداد النهايات.

٢ـ حالة وجود سيخين متقاربين:

العينات التى تحتوى على سيخين لا تزيد المسافة بينهما على قطر السيخ الأكبر فتطبق المعادلة السابقة لحساب عامل التصحيح (ب) مع الأخذ فى الإعتبار أكبر قيمة (ق ح × س) لأيهما.

٣ـ حالة وجود سيخين متباعدين:

العينات التى تحتوى على سيخين تزيد المسافة بينهما على قطر السيخ الأكبر فيكون التأثير المجمع لهما كالآتى:

$$\text{عامل التصحيح (ب)} = ١,٠ + ١,٥ \frac{\text{مجـ (ق ح} \times \text{س)}}{\text{ق} \times \text{ع}}$$

والجدول الآتى يوضح بعض القيم لعامل التصحيح (ب) فى حالة وجود سيخ واحد بعينة قلب قطرها ١٠٠ مم وإرتفاعها ١٢٠ مم.

قطر السيخ (مم)	المسافة بين محور السيخ والنهاية القريبة للعينة (مم)				
	٢٠	٤٠	٦٠	٨٠	١٠٠
١٢	١,٠٣٠	١,٠٦٠	١,٠٩٠	١,١٢٠	١,١٥٠
١٦	١,٠٤٠	١,٠٨٠	١,١٢٠	١,١٦٠	١,٢٠٠
١٩	١,٠٤٨	١,٠٩٥	١,١٤٣	١,١٩٠	١,٢٣٨
٢٢	١,٠٥٥	١,١١٠	١,١٦٥	١,٢٢٠	١,٢٧٥
٢٥	١,٠٦٣	١,١٢٥	١,١٨٨	١,٢٥٠	١,٣١٣

تقرير الإختبار

يجب أن يشتمل التقرير الخاص بنتائج القلب الخرسانى على الآتى:

- تاريخ أخذ العينة.
- القطر المتوسط للعينة.
- الطول بعد عمل الغطاء.
- مقاومة الضغط المقاسة.
- مقاومة الضغط المقدرة للمكعب.
- وصف نوع الركام.
- درجة دمك الخرسانة.
- حجم ومقاس حديد التسليح وموضعه إن وجد.
- عمر الخرسانة (إذا أمكن).
- أكبر وأقل طول للعينة المستخرجة.
- طريقة عمل الغطاء.
- معامل التصحيح للعينات الإسطوانية.
- شكل الخرسانة وشكل الكسر الناتج.
- توزيع المواد بالخلطه الخرسانية.
- صورة أو صور للعينات ترفق مع التقرير.

القبـــول

- أولاً يتم عمل ثلاث عينات للخرسانة المراد إختبارها.
- تعتبر الخرسانة مقبولة إذا كان متوسط المقاومة المحسوبة لثلاثة قلوب لا يقل عن ٧٥٪ من المقاومة المطلوبة.
- ويشترط أيضاً أن لا تقل المقاومة المحسوبة لأية عينة عن ٦٥٪ من المقاومة المطلوبة.
- إذا لم يتحقق ذلك يجرى إختبار تحميل.

٩-٥ إختبار التحميل Loading Test

الغرض من الإختبار هو إختبار كفاءة العنصر الإنشائى فى تحمل الأحمال التصميمية التى صُمم من أجلها. ويجرى الإختبار على الكمرات أو البلاطات أو الأسقف أو المنشأ ككل. أما العناصر الغير معرضه لعزوم إنحناء مثل الأعمدة أو القواعد يتم تقييم أمانها عن طريق التحليل الإنشائى ولا يجوزعمل إختبارات تحميل لها.

❐ متى يتم إجراء هذا الإختبار ؟

- إذا كان هناك شك فى كفاءة المنشأ.
- إذا كانت هناك أسباب تدعو إلى ذلك مثل وجود هبوط غير منتظم فى أجزاء من المنشأ.
- إذا فشلت نتائج القلب الخرسانى.
- إذا نُص على ذلك فى المواصفات والإشتراطات الخاصة بالمشروع.

ولا يتم إجراء الإختبار قبل مرور ستة أسابيع من إبتداء تصلد الخرسانة.

❐ القياسات المطلوبة:

- يقاس سهم الإنحناء قبل إجراء الإختبار.
- يقاس سهم الإنحناء أثناء التحميل التدريجى
- يقاس سهم الإنحناء بعد إجراء التحميل ومرور ٢٤ ساعة.
- يقاس عرض الشروخ بعد التحميل.
- يقاس سهم الإنحناء بعد ٢٤ ساعة من رفع الأحمال.

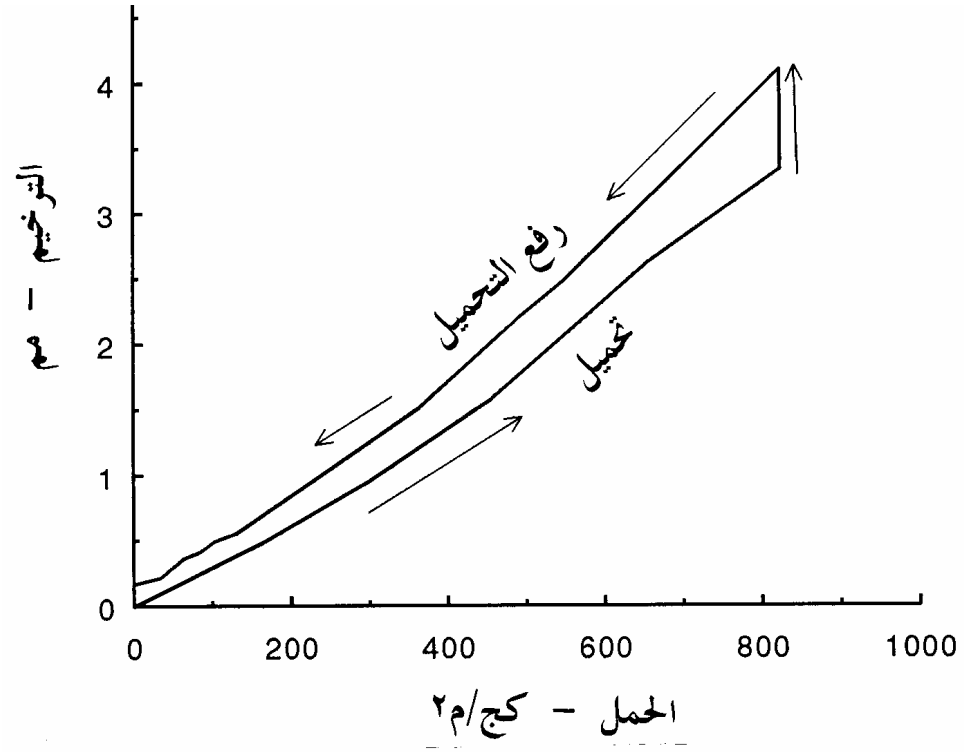
ويمكن رسم العلاقات بين الحمل وسهم الإنحناء وكذلك العلاقة بين الزمن وسهم الإنحناء كما بشكل (٩-١٩)

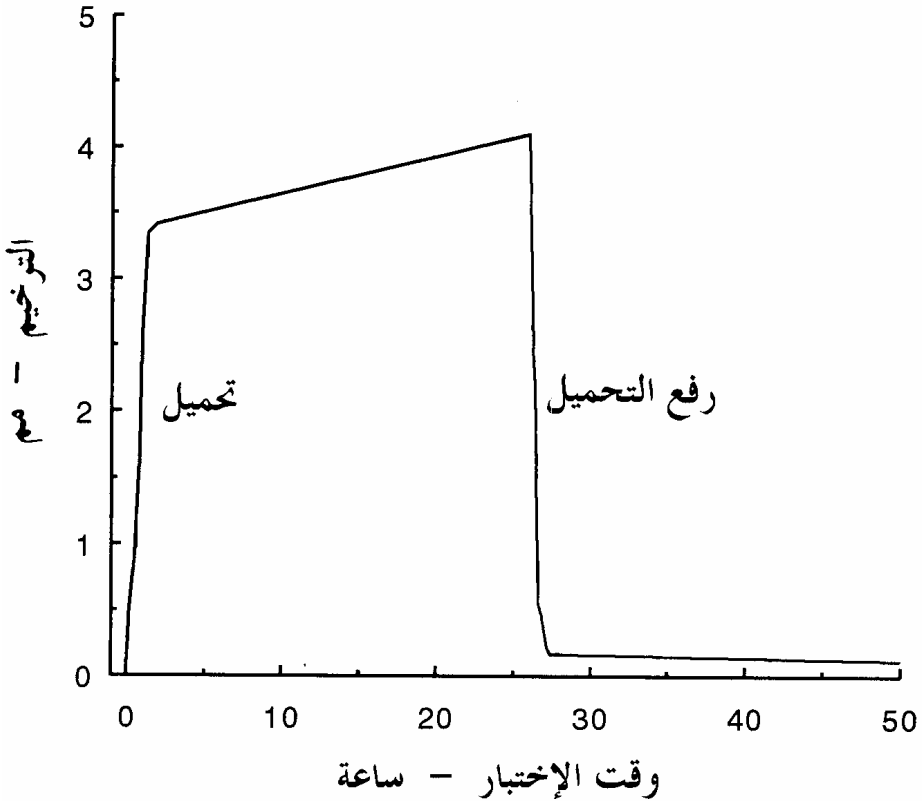
❐ الأحمـــال:

يعرض جزء المنشأ المراد إختباره لحمل مقداره:

$$٠,٨٥ \left[١,٤ \text{ (الأحمال الدائمة)} + ١,٦ \text{ (الأحمال الحية)} \right]$$

مع مراعاة إجراء التحميل على أربعة مراحل متساوية تقريباً بدون إحداث أى صدمات أثناء التحميل. وتشمل الأحمال الدائمة وزن الأرضيات و القواطيع والبياض .. إلخ ، ولاتشمل الأحمال الموجودة فعلاً وقت إجراء الإختبار مثل الوزن الذاتى للبلاطة أو ما شابه. ويتم تحميل العنصر الإنشائى المطلوب إختباره والعناصر المجاورة له بحيث نحصل على أحرج وضع لتحميل هذا العنصر Critical Load.





شكل (٩-١٩) العلاقة بين الحمل - سهم الإنحناء - الزمن لإختبار التحميل.

❐ الإحتياطـات أثناء التحميل:

توضع قوائم مثبتة تحت الأجزاء المحملة بشرط ترك مسافة تسمح بالإنحناء للجزء موضوع الإختبار وأن تكون بالعدد الكافى لتتحمل الحمل بأكمله.

❐ شروط القبـول:

يعتبر المنشأ قد إستوفى شروط الأمان إذا تحقق ما يلى :

١- إذا كانت أكبر قيمة لسهم الإنحناء δ_{max} فى العنصر المختبر أقل من أو تساوى:

$$\delta_{max} \leq L_t^2 / 20000\ t \quad \text{..... mm}$$

حيث L_t = البحر مقاس بالمليمتر ، t سمك العنصر بالمليمتر.

* تؤخذ L_t فى حالة الكوابيل بضعف المسافه لبحر الكابولى.

* تؤخذ L_t هى طول الإتجاه الأصغر فى حالة البلاطات اللاكمرية أو ذات الإتجاهين.

٢- إذا زاد سهم الإنحناء الأقصى عن القيمة المحسوبة بالمعادلة السابقة فيجب أن يكون الجزء المسترجع من سهم الإنحناء الأقصى بعد ٢٤ ساعة من رفع الحمل لا يقل عن ٧٥% من قيمة سهم الإنحناء الأقصى - وعرض الشروخ فى حدود المسموح به.

- إذا لم يختف ٧٥% من سهم الإنحناء الأقصى فيجب إعادة الإختبار بنفس الطريقة السابقة بعد مدة لا تقل عن ٧٢ ساعة على رفع وإزالة أحمال التجربة الأولى.

- إذا لم يختف ٧٥% من سهم الإنحناء الأقصى الذى ظهر أثناء الإختبار الثانى أو أن تكون الشروخ أكبر من المسموح به يعتبر المنشأ غير مقبول.

إذا ظهر على أى جزء من المنشأ أثناء الإختبار أو بعد رفع الحمل أى شىء من الآتى:

١- علامة من علامات الضعف.
٢- سهم إنحناء غير منتظر.
٣- خطأ فى طريقة الإنشاء.
٤- إتساع أكبر غير منتظر للشروخ.

فيتبع المصمم الحلول التالية

١- وضع ركائز إضافية إن أمكن.
٢- عمل تخفيض فى الأحمال الحية.
٣- تحسين توزيع الأحمال.
٤- عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميتة.
٥- عمل تقويات للعناصر الأساسية إن أمكن.

❐ رفض الأعمال

يعتبرالمنشأ غير صالح للإستعمال للغرض الذى أنشئ من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات غير كافيه.

٩-٦ عدم تحقيق الخرسانة لمتطلبات التصميم

فى حالة عدم تحقيق مقاومة الخرسانة لمتطلبات المشروع سواء للعينات المأخوذة من الخرسانة أثناء التنفيذ مثل المكعبات أو للإختبارات غير المتلفة فإنه يتم الرجوع إلى مصمم المشروع أو الإستشارى لعمل التحليل والمراجعة الإنشائية على ضوء المقاومة الفعلية للخرسانة المنفذة بالمنشأ مع الأخذ فى الإعتبار الآتى:

١- إذا تحقق من خلال التحليل الإنشائى أن المنشأ بجميع عناصره يمكنه تحمل الأحمال المصمم عليها وأن أدائيته وسلوك عناصره تحت هذه الأحمال وبحالة خرسانته الراهنة مطابقة للحدود المنصوص عليها بكود الممارسة المعتمد فإنه يمكن إعداد تقرير أمان وسلام للمنشأ. هذا ويمكن إضافة بنود خاصه بحماية الخرسانة ومتانتها قد يراها الإستشارى للحفاظ على المنشأ مع الزمن مع تحميل المقاول تكاليف هذه الأعمال المستجدة وكذلك التعويض المالى المناسب لعدم تحقيقه متطلبات العقد.

٢- إذا لم يتحقق للمنشأ من خلال التحليل الإنشائى الكامل وعلى ضوء حالة الخرسانات المنفذة تحمله للأحمال المصمم عليها نظراً لضعف مقاومة الخرسانة فإنه يمكن للإستشارى دراسة الحلول الآتية:

أ- وضع ركائز إضافية إن أمكن بحيث لا تؤثر تأثيراً غير مقبول على الناحية المعمارية أو الجمالية أو الوظيفية للمنشأ.

ب- عمل التخفيض الممكن فى الأحمال الميته وغيرها وتحسين توزيع الأحمال وتعديل ترتيب الأحمال المركزة.

ويعتبر المنشأ غير صالح للإستعمال للغرض المصمم من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات لا تزال غير كافية.

٩-٧ تقارير سلامة وأمان المنشآت

تتحقق سلامة وأمان المنشأ بالدراسة والإختبارات للتربة المقام عليها وبالتصميم الجيد آخذين فى الإعتبار عناصر الحماية طبقاً للظروف المحيطة وظروف الإستخدام وبإستخدام مواد مطابقة للمواصفات القياسية وبالتنفيذ السليم فى جميع مراحله من تشوين ومعايرة وخلط ونقل وصب ودمك ومعالجة ومن شدات قوية وسليمة تحقق الأبعاد للعناصر المختلفة من توزيع للتسليح بالأقطار والأطوال والأشكال المصمم عليها المنشأ كما تتحقق السلامة من عدم تغيير الإستخدام المصمم له المنشأ أو عمل تعديلات وتعليات غير مدروسة أو من عدم غياب الصيانة أو قصورها وكذلك إذا اخذت الكوارث الطبيعية فى الإعتبار.

أسباب طلب التقريـر

عادة يطلب تقرير عن سلامة وأمان منشأ من جهة إستشارية فى حالات أكثرها شيوعاً الآتى:

١- تسليم منشأ قائم من جهة قامت بالتنفيذ الى جهة لم تشرف على التنفيذ.

٢- عند الرغبة فى أعمال التعليات.

٣- فى حالة حدوث عيوب تشير إلى عدم الأمان الإنشائى للمبنى سواء على هيئة ميل للمبنى أو هبوط أو تزحلق أو إلتواء أو شروخ بالعناصر الإنشائية أو الحوائط لها دلالات تشير إلى عدم أمان المنشأ.

٤- فى حالة حدوث كوارث غير متوقعة كالزلازل يواكبها ظهور عيوب بالمنشأ.

هذا وتجدر الإشارة إلى أنه فى حالة إشراف جهة معتمدة على تنفيذ مبنى فى جميع مراحلة من جسات وأساسات وشدات وتسليح وإشراف على الصب ولكن عنصر القصور يكون فقط فى عدم وجود نتائج لمقاومة الخرسانة أو عند عدم تحقيق نتائج الخرسانة لمتطلبات المصمم فإن المطلوب هو عمل الإختبارات غير المتلفة لتحديد مقاومة الخرسانة إستعواضاً للمقاومات غير المتوفرة للخرسانة وتصبح هذه النتائج ضمن المستندات المتكاملة للإشراف على تنفيذ المنشأ والتى يمكن للقائمين على الإشراف الكامل تقديم تقرير لسلامة وأمان المنشأ على ضوئها .

محتويات التقريـــر

عند طلب إعداد تقرير عن سلامة وأمان منشأ قائم للإستخدام المصمم عليه وللظروف المحيطة من جهة إستشارية فيجب أن يشتمل التقرير على الآتى:

١- توصيف المبنى توصيفاً كاملاً معمارياً وإنشائياً وكذلك المنطقة المحيطة.

٢- تحديد مجال إستخدام المنشأ.

٣- المستندات التى تم الرجوع اليها (لوحات و تقارير تربة - تقارير سابقة - مستندات تنفيذ).

٤- حصيلة المناقشات مع الجهة الطالبة والمستخدمين وغيرهم.

٥- رفع وتسجيل دقيق مدعم بكروكيات وصور إن أمكن للعيوب الظاهرة بالمبنى ككل وكذلك بجميع وحداته وعناصره على كامل إرتفاعه شاملة الأساسات.

٦- مطابقة ماتم تنفيذه مع اللوحات الإنشائية والمعمارية وغيرها ، وفى حالة عدم توفر هذه اللوحات تتم عملية رفع دقيق للمبنى إنشائياً ومعمارياً.

٧- المراجعة الإنشائية للتصميم من واقع اللوحات كمرحلة أولى يليها المراجعة الإنشائية على ضوء ماتسفر عنه الإختبارات.

٨- إختبارات غير متلفة للخرسانة لتحديد مقاومتها للضغط وذلك بأجهزة الإختبارات غير المتلفة بعد عمل المعايرات اللازمة لها وبناءاً على مواصفاتها القياسية وأن يتم ذلك بواسطة متخصصين ذوى خبرة وتفهم لطبيعة إستخدام هذه الأجهزة والعوامل المؤثرة علىنتائجها وكيفية تحليل هذه النتائج.

٩- يمكن أخذ عينات من الخرسانة وتحليلها كيميائياً لتحديد نسب الأملاح الضارة بها ومطابقتها بالحدود المسموح بها بالكودات وهذه الإختبارات الكيميائية تمثل أهمية كبيرة فى متانة المنشآت.

١٠- الكشف عن صلب التسليح لتحديد مدى مطابقته للوحات من حيث وضعه وأقطاره وأنواعه وحالة الصدأ به إذا وجدت والغطاء الخرسانى.

١١- عمل جسات للتربة لتحديد حالتها وقت المعاينة وخواصها وتحملها وكذلك دراسة تربة الإحلال إن وجدت.

١٢- قد يتم عمليات تحميل لبعض عناصر المنشأ مثل البلاطات والكمرات والكوابيل إذا رأى الإستشارى ذلك.

****