

٢-٨ توصيات لاختبار صلادة السطح باستخدام مطرقة الارتداد

RECOMMENDATIONS FOR SURFACE HARDNESS
TESTING BY REBOUND HAMMER

١-٢-٨ عام

اختبار صلادة السطح باستخدام مطرقة الارتداد هو أحد الأساليب غير المتلفة المفيدة في مقارنة جودة الخرسانات المختلفة تحت نفس الظروف وتقييم تغير نوعية الخرسانة مع تغير العمر وظروف التعرض ، كما قد تستخدم لتحديد قيم تقريبية لمقاومة الخرسانة للضغط (عند وجود منحنيات المعايرة المناسبة). ولا تعتبر هذه الطريقة بديلاً للطرق المعروفة لتقدير المقاومة ولكنها يجب أن تستخدم كطريقة ابتدائية أو تكميلية لهذه الطرق بغرض ضبط الجودة.

٢-٢-٨ الهدف

يهدف هذا الاختبار إلى قياس صلادة الارتداد من السطح الخرساني باستخدام كتلة معدنية ذات وزن قياسي تصدم السطح الخرساني - عمودياً عليه - بطاقة ابتدائية محددة. ويعبر عن ارتداد هذه الكتلة بواسطة رقم الارتداد الذي يتناسب طردياً مع مقاومة الطبقة السطحية من العنصر. ويمكن تقدير المقاومة للعنصر باستخدام منحنيات معايرة تستنتج لخرسانة لها ظروف مشابهة لتلك المختبرة.

٣-٢-٨ تعريفات

صلادة السطح

خاصية للسطح الخرساني تقاس بنسبة الطاقة المرتجعة لكتلة قياسية تصدم السطح بطاقة ابتدائية ثابتة.

موقع الاختبار

منطقة من الخرسانة يتم تقييمها ويمكن اعتبارها - عملياً - ذات جودة منتظمة.

قراءة الصلادة

قياس وحيد للصلادة عند نقطة من السطح الخرساني.

اختبار الصلادة

مجموعة من اختبارات الصلادة عند موقع اختبار.

٨-٢-٤ الجهاز

توجد أنواع متعددة من مطرقة الارتداد وأكثرها شيوعاً يعطى طاقة صدم ٢,٢ نيوتن.م. وينبغي أن يصاحب المطرقة سندان معايرة (Anvil) صلب لمعايرة الجهاز من حين لآخر وعند الاستخدام. وقد تختلف الأجهزة من حيث طريقة إظهار رقم الارتداد حيث يوجد النوع التقليدى ذو المؤشر أو النوع ذو المسجل الورقى أو ذو الذاكرة الإلكترونية. والنوع الأخير يمكن أن يقوم بعمل بعض التحليلات الإحصائية للقراءات واستنتاج قيم المقاومة من منحنيات معايرة معطاة ويأخذ فى الاعتبار اتجاه ميل المطرقة.

ويستكون الجهاز من غلاف معدنى يحتوى بداخله على مكبس أسطوانى محورى فى نهايته نظام تعليق مفصلى يربط (أو يفصل) حركة نقل قياسي (Hammer) متحد المحور مع المكبس. ويبرز المكبس من الطرف المفتوح للغلاف بينما يبتعد عن الطرف المغلق (من الداخل) بواسطة يابى معدنى. ويرتبط النقل المعدنى من الناحية الأخرى بمقدمة الغلاف بواسطة يابى معدنى يعمل على سحب المطرقة وإحداث الصدمة مع السطح المختبر عند فصل النقل عن المكبس من نظام التعليق المفصلى. كما يحتوى الغلاف من الداخل فى مركز النهاية المغلقة (الخلفية) على مسمار يقوم بفصل نظام التعليق وتحرير النقل من المكبس عند دفع المكبس لنهاية مشواره وقت الاختبار. يوضح الشكل (٨-٢-١) قطاعاً رأسياً فى الجهاز ، كما يوضح الشكل (٨-٢-٢) ترتيب وضع الأجزاء الرئيسية أثناء الاختبار.

٨-٢-٥ الإجراءات

٨-٢-٥-١ أخذ قراءات الارتداد

- تحدد مواقع الاختبار بالمنشأ أو العناصر المطلوب فحصها حسب حالة الإجهادات ، مقياس العنصر أو المنشأ ، التغيير فى المقاومة المتوقعة ، وظروف الصب بحيث تكون المواقع المختلفة ذات ظروف متشابهة (الرطوبة والتثبيت والجساءة ... الخ) بحيث تسمح باستخدام منحنى المعايرة المعدل للتقييم. وتزداد أهمية تشابه الظروف إذا كان الغرض من الاختبار هو المقارنة. ويمكن اختبار الأسطح الرطبة بعد إزالة الماء الحر السطحى.

- يتم تحقيق كفاءة الجهاز باستخدام سندان المعايرة (Anvil) الخاص بالجهاز، ويسجل رقم الارتداد الناتج. وإذا اختلفت القراءة المسجلة بدرجة كبيرة عن المعطاة للسندان يتم استبعاد الجهاز واستبداله بأخر سليم. أما إذا كان الفارق فى حدود المسموح به-حسب توصيات المنتج - فيمكن استخدام الجهاز مع تطبيق معامل التصحيح الموضح بالكتالوج الخاص به.

- يسوى ويُنعَم سطح الخرسانة فى الموقع (المواقع) المطلوب اختباره بواسطة الحجر أو القطع للحصول على سطح ناعم مستو فى مساحة حوالى ٣٠٠ مم × ٣٠٠ مم. والأفضل اختبار السطح

الموجود على حالته بعد الصب والذي لم يحدث له تعديل (بالتسوية بالمسطرين مثلاً) وذلك باختبار الأسطح التي كانت مواجهة للشدة أثناء الصب.

- ترسم شبكة من الخطوط المتعامدة تباعدها في الاتجاهين بمقدار من ٢٠ إلى ٥٠ مم تكون نقاط التقاطع هي نقاط أخذ القراءات. ويراعى تباعد أى من النقاط المختيرة عن الحواف بمسافة لا تقل عن ٢٠ مم . ويمكن التغاضى عن استخدام الشبكات مع المحافظة على المسافات بين مواقع أخذ القراءات بعضها البعض وبينها وبين حواف العنصر المختبر .

- يُحرر مكبس المطرقة (Plunger) من غلاف الجهاز بواسطة دفعه للداخل مع ضغط زر تثبيت القراءة في نفس الوقت. يتم دفع المطرقة عند كل تقاطع في اتجاه عمودى على السطح مع تثبيتها حتى يدخل المكبس بكامله إلى داخل الغلاف ويرتد التقل القياسى محدثاً صدمة وصوتاً مسموعاً. ويستمر دفع المطرقة باتجاه السطح المختبر للحفاظ على قيمة القراءة المسجلة للارتداد ثم يضغط على زر تثبيت القراءة ويمكن بعدها رفع المطرقة من السطح وتسجيل القراءة رقم الارتداد. (الشكل (٢-٢-٨)).

- يفضل تسجيل القراءة على مخطط يوضح شكل الشبكة في كل موقع وتؤخذ ١٢ قراءة على الأقل عند كل موقع.

- بعد انتهاء الاختبارات يتم تحقيق كفاءة الجهاز باستخدام سندان المعايرة (Anvil) الخاص بالجهاز وتسجل القراءة.

٢-٥-٢-٨-٨ المعايرة

- تكون باستخدام عينات معملية (مكعبات) غير أنها قد لا تكون ممثلة لواقع فى المنشأ، لذلك يمكن استخدام التقدير فى نقاط بالمنشأ ثم استخراج قلوب خرسانية من مواقع الاختبار وكسرها لتحقيق العلاقة بين الارتداد والمقاومة.

- لاتوجد علاقة وحيدة تربط الارتداد مع المقاومة ولذلك ينبغى أن تجرى المعايرة لمجموعة محددة من الظروف للحصول على دقة مقبولة.

- تكون الدقة أكبر إذا كانت العينات المستخدمة أكبر ما يمكن فالمكعبات (١٥٠ مم) مفضلة عن المكعبات (١٠٠ مم).

- توضع عينات المكعبات فى مكنة اختبار الضغط تحت إجهاد ٧ - ١٠ نيوتن/مم^٢ إذا كانت طاقة الصدم بالجهاز ٢,٢ نيوتن.م ويزاد الإجهاد أو يقلل طردياً مع تغير طاقة الصدم للجهاز.

- يُختبر عدد من العينات - فى نفس ظروف المعايرة المطلوبة فى مدى مقاومة يناظر المتوقع. وتزداد الثقة فى المعايرة بزيادة عدد النتائج . ويتم أخذ ٩ قراءات على كل من وجهى المكعب المكشوفين أثناء التحميل بحيث لا تقل المسافة بين مواقع الاختبار وحافة المكعب أو بين المواقع المختلفة عن ٢٠ سم. ويتم تحديد متوسط رقم الارتداد للقرارات.
- يتم زيادة تحميل المكعب حتى الكسر ويحدد إجهاد الكسر = مقاومة الضغط = حمل الكسر/مساحة التحميل. ويمثل متوسط رقم الارتداد مع مقاومة الضغط نقطة واحدة تستخدم مع نقاط أخرى لاستنتاج منحنى المعايرة.
- يتم تغيير مقاومة الضغط لعينات المعايرة حسب الغرض من الدراسة ، فإذا كان المطلوب دراسة تطور المقاومة مع العمر تتم زيادة المقاومة لغرض المعايرة بواسطة زيادة عمر الاختبار. أما إذا كان الغرض تحديد نوعية الخرسانة يتم زيادة المقاومة بإنقاص نسبة م/س.
- يتم تحديد منحنى العلاقة الذى يعطى أفضل توافق مع النقاط الناتجة ، ويستخدم فى التقييم مع مراعاة ظروف العينات.

٨-٢-٥-٣ التطبيقات المختلفة للاختبار

أ - تحقيق انتظام الخرسانة

ويتم ذلك بأخذ قراءات الصلادة عند مواقع مختلفة لتحديد المناطق ذات الجودة المتباينة ثم يتم تأكيد ذلك باستخدام وسائل أخرى أكثر دقة (متلفة عادة). وينبغي مراعاة ضرورة تماثل ظروف الاختبار فى المواقع المختلفة أو اعتبار ذلك عند تحليل النتائج لتقييم الجودة.

ب - مقارنة نتائج الخرسانة المختبرة بقيمة مرجعية لتحقيق متطلبات محددة

يمكن استخدام نتائج اختبار الصلادة لتحديد إمكانية مناولة أو نقل الوحدات أو إزالة الدعامات المؤقتة للعناصر الإنشائية، وذلك بالإضافة إلى اختبار مقاومة الضغط وتحدد القيمة الحرجة للصلادة (رقم الارتداد) بناء على حمل ضمان أو الخبرة السابقة لأدائية العناصر فى اختبارات القبول. ومن الممكن أيضاً ضمن إجراءات ضبط الجودة استكمال عدد محدود من اختبارات التحميل أو الاختبارات المتلفة بالعديد من الاختبارات البسيطة للصلادة.

ج - تحديد خصائص سطح الخرسانة والتي لها تأثير مباشر على أدائها

يمكن استخدام نتائج اختبار الصلادة لتقييم مقاومة البرى لسطح الخرسانة حيث أظهرت النتائج ارتباطاً مقبولاً جداً بينهما.

د - تقدير مقاومة الخرسانة فى المنشآت

يمكن -عن طريق عمليات المعايرة فى البند السابق- استنتاج قيم تقريبية لمقاومة الخرسانة للضغط بمعلومية نتائج اختبار الصلادة. غير أنه ينبغى الحذر الشديد عند إجراء ذلك حيث توجد العديد من العوامل المتداخلة التى تؤثر فى صحة (وليس دقة) النتائج خصوصاً التماثل فى الظروف مع تلك المستنتج لها منحنى المعايرة. والبند التالى يحتوى على وصف موجز للعوامل المؤثرة على نتائج اختبار الصلادة.

٨-٢-٦ العوامل المؤثرة على نتائج اختبار الصلادة

تعطى هذه الطريقة لاختبار صلادة الارتداد معلومات عن نوعية الخرسانة فى الطبقة السطحية (بعمق حوالى ٣٠ مم) وتقيس الصلادة لهذه الطبقة وبالتالي العلاقة مع أى خاصية أخرى هى علاقة تجريبية فقط دون أى أساس نظرى. تعرض الفقرات التالية بإيجاز العوامل المؤثرة على نتائج اختبار الصلادة لكى توضح مصادر الخطأ فى القياسات وحدود استخدام مطرقة الارتداد ونتائج الاختبار بها.

٨-٢-٦-١ مقاومة الخرسانة

تتأثر العلاقة بين مقاومة الخرسانة و صلادة السطح بالعوامل الآتية:

أ - نوع الأسمنت

تأثير الاختلاف فى نعومة الأسمنت البورتلاندى على العلاقة صغير نسبياً ولا يزيد على ١٠%. ولكن الخرسانة المنتجة باستخدام الأسمنت عالى الألويميناً يمكن أن تعطى نتائج أعلى بمقدار ١٠٠% من تلك المستنتجة للأسمنت البورتلاندى العادى، بينما الخرسانة المنتجة باستخدام الأسمنت عالى المقاومة للكبريتات تعطى مقاومة أقل بمقدار ٥٠% من تلك التى نحصل عليها من المعايرة بالأسمنت البورتلاندى.

ب - محتوى الأسمنت

الخرسانة ذات محتوى الأسمنت المرتفع تعطى قراءات ارتداد أقل من الخرسانة ذات نفس المقاومة بمحتوى أسمنت أقل. ولكن الخطأ الناتج عن هذا العامل لا يتعدى ١٠% .

ج - نوع الركام

بالرغم من أن النوعيات المختلفة من الركام عادى الوزن تعطى معايرت متقاربة فإن ذلك يتطلب إثباته معملياً ولا بد من إجراء معايرة خاصة عند استخدام الركام خفيف الوزن و ذى المواصفات الخاصة.

د - نوع المعالجة وعمر الخرسانة

تتغير العلاقة بين المقاومة والصلادة تبعاً لعمر الخرسانة ، التغير فى معدل التصلب الابتدائى ، المعالجة ، وظروف التعرض. لذلك لابد من إجراء معايرة مختلفة لكل أسلوب وفترة معالجة.

هـ - الدمك

مطريقة الارتداد غير مناسبة لتحديد التغير فى المقاومة الناتج عن الاختلاف فى درجة الدمك، وإذا كانت الخرسانة غير مدموكة دمكاً تاماً فلا يمكن الاعتماد على نتائج هذا الاختبار.

٢-٦-٢-٨ نوع السطح

ينبغى اختبار الأسطح الناعمة فقط ويؤثر نوع مادة الشدة على قيمة الارتداد الناتج. الأسطح الممسوسة تكون عادة أكثر صلادة من تلك الناتجة من الصب بداخل الشدة كما أنها تعطى نتائج أكثر تبايناً. واختبار الأسطح المقطوعة يعطى نتائج أكثر تبايناً وتختلف بدرجة كبيرة عن تلك للأسطح المصبوبة. ولذلك يفضل دائماً اختبار البلاطة على السطح السفلى والكمرات والأعمدة والقواعد على الأسطح الجانبية. وعند اختبار أسطح مختلفة ينبغى عمل معايرة منفصلة.

٣-٦-٢-٨ نوع الخرسانة

تناسب اختبارات الصلادة الخرسانة ذات "النسيج المغلق" و لا تناسب تلك ذات "النسيج المفتوح" مثل الخرسانة الخلوية أو بلوكات الطوب المفرغة أو الخرسانة الخالية من المواد الناعمة .

٤-٦-٢-٨ ظروف رطوبة السطح

يعطى السطح الرطب قراءة ارتداد أقل من قراءة السطح الجاف بدرجة ملحوظة قد تصل إلى ٢٠% فى حالة الخرسانة الإنشائية النمطية. وفى بعض الحالات قد يكون الفارق أكثر.

٥-٦-٢-٨ التحول الكربونى

يعمل التحول الكربونى على زيادة الصلادة و لكن المعدلات العادية لهذا التحول لا تؤثر بدرجة ملحوظة على القيم المقاسة للصلادة عندما يكون عمر الخرسانة أقل من ثلاثة أشهر. ويكون تأثير التحول الكربونى ملحوظاً- حتى فى الأعمار المبكرة - تحت ظروف خاصة من الحرارة المرتفعة ومحتوى عال من ثانى أكسيد الكربون فى الوسط المحيط. وعندئذ لا تكون الطبقة السطحية ممثلة لخرسانة العنصر.

٨-٢-٦-٦ حركة العنصر الخرسانى المختبر

للحصول على قراءات صحيحة لمطرقة الارتداد ينبغي ألا يتحرك (يهتز) العنصر المختبر عند صدمه بالمطرقة. ويحدث هذا الاهتزاز في حالة العناصر النحيفة ، وعند اختبار مثل هذه العناصر ينبغي تدعيم موقع الاختبار إذا كان المطلوب تقدير المقاومة. ولا نحتاج لهذا التدعيم إذا كان الغرض من الاختبار مقارنة عناصر لها نفس الدرجة من النحافة.

٨-٢-٦-٧ اتجاه الاختبار

ينبغي أن يكون اتجاه المطرقة عمودياً على السطح المختبر في جميع الأحوال. غير أن اتجاه المطرقة يؤثر بدرجات مختلفة على قيمة ارتداد المطرقة بسبب تأثير مركبة وزن المطرقة. ولذلك ينبغي تحقيق تأثير الاتجاه على القراءات معملياً واستنتاج منحنيات معايرة مختلفة للخواص المطلوب تقديرها من قراءات الارتداد.

٨-٢-٦-٨ عوامل أخرى

من العوامل التي تؤثر على قراءات الارتداد قرب موقع الاختبار من منطقة عدم استمرارية العنصر المختبر (فتحة مثلاً) وكذلك حالة الإجهاد في المنطقة المختبرة وأيضاً درجة حرارة الخرسانة والجهاز. لذا ينبغي اختبار مناطق أبعد ما يكون عن الحواف ويحد أدنى ٢٠ مم وعند ذلك وفي الظروف العادية يكون تأثير عوامل الإجهاد والحرارة صغيراً.

الأجهزة المختلفة ذات نفس التصميم الإسمى قد تعطي قيماً مختلفة للارتداد لنفس العنصر ، لذلك يجب مقارنة جودة الأجزاء الخرسانية المختلفة باستخدام نفس الجهاز (وكذلك بالنسبة لاستنتاج منحنيات المعايرة). وعند حتمية استخدام أكثر من جهاز في نفس العملية فينبغي تقدير الفوارق بين نتائجها معملياً قبل الاستخدام.

٨-٢-٧ الأخطاء الشائعة

- استخدام منحنيات علاقة المقاومة ورقم الارتداد العامة مثل تلك المعطاة مع الجهاز والمعدة بواسطة منتج الجهاز ممكن أن يؤدي إلى أخطاء جسيمة ولذا ينبغي تجنبها.
- إذا استخدمت قراءات مطرقة الارتداد لتحديد مقاومة السطح للبرى فلا ينبغي أن يقل عمر الخرسانة المختبرة عن خمسة عشر يوماً ولا يزيد على ثلاثة أشهر.

٨-٢-٨ النتائج

- يكون رقم الارتداد عند كل موقع اختبار هو متوسط القراءات المأخوذة دون استبعاد القيم المتطرفة، إلا إذا وجد سبب مقنع لاستبعادها.

- يعطى الفارق فى النتائج بين المواقع المختلفة مقياساً لتغير جودة الخرسانة فى المنشأ أو العنصر المختبر. مثال على ذلك: تغيير المقاومة مع عمق العنصر بسبب تغيير نسبة الماء / الأسمنت نتيجة للهبوط والنضح.
- الوسائل البيانية مثل خطوط " انكوتور " و "الهيستوجرام" تكون ذات فائدة كبيرة فى تقدير التغير فى نوعية الخرسانة وذلك عند توافر عدد كبير من النتائج فى مواقع متشابهة الظروف. فمثلاً التوزيع العادى (Normal Distribution) للنتائج ذات المنوال (Mode) الوحيد يعنى خرسانة من نوعية واحدة. والتوزيع ذو المنوالين يعنى وجود نوعيتين من الخرسانة. والتوزيع ذو الذيل الطويل يعنى صناعة رديئة للخرسانة.
- تزداد درجة الثقة بالنتائج عند إدماجها مع نتائج طريقة أخرى مثل اختبار سرعة انتقال النبضات فوق الصوتية.

٨-٢-٩ التقرير

يتم فى التقرير تحديد المواصفات القياسية التى أجرى الاختبار وفقاً لها ، كما يحتوى تقرير الاختبار على المعلومات الآتية:

- أ - بيانات إلزامية
 - تاريخ ، وقت ، مكان الاختبار.
 - وصف للمنشأ ومواقع الاختبار واستخدام الشبكات من عدمه (يوضح ذلك بالمخططات).
 - تفاصيل ظروف الاختبار والخرسانة وتكوينها (تتضمن العوامل المؤثرة فى نتيجة الاختبار كما هو موضح فيما سبق (بند ٨-٢-٦)).
 - وصف الطريقة المستخدمة (النوع، المنتج ، المنشأ ، الرقم المسلسل).
 - القيمة المتوسطة لرقم الارتداد والمدى والانحراف المعيارى ومعامل الاختلاف لقراءات كل اختبار صلادة (عند كل موقع).
 - قراءات سندان المعايرة قبل وبعد الاختبار.

ب - بيانات أخرى

- عند وجود منحنيات معايرة يشمل التقرير الخاصية المنتجة (مثل مقاومة الضغط) مع ذكر مصدر المعايرة.

- نتائج الاختبارات المكملة بأساليب أخرى غير الصلادة (مثال: اختيار سرعة انتقال الموجات فوق الصوتية).

- تباعد خطوط الشبكات (إذا استخدمت).

١٠-٢-٨ الدقة والحيود

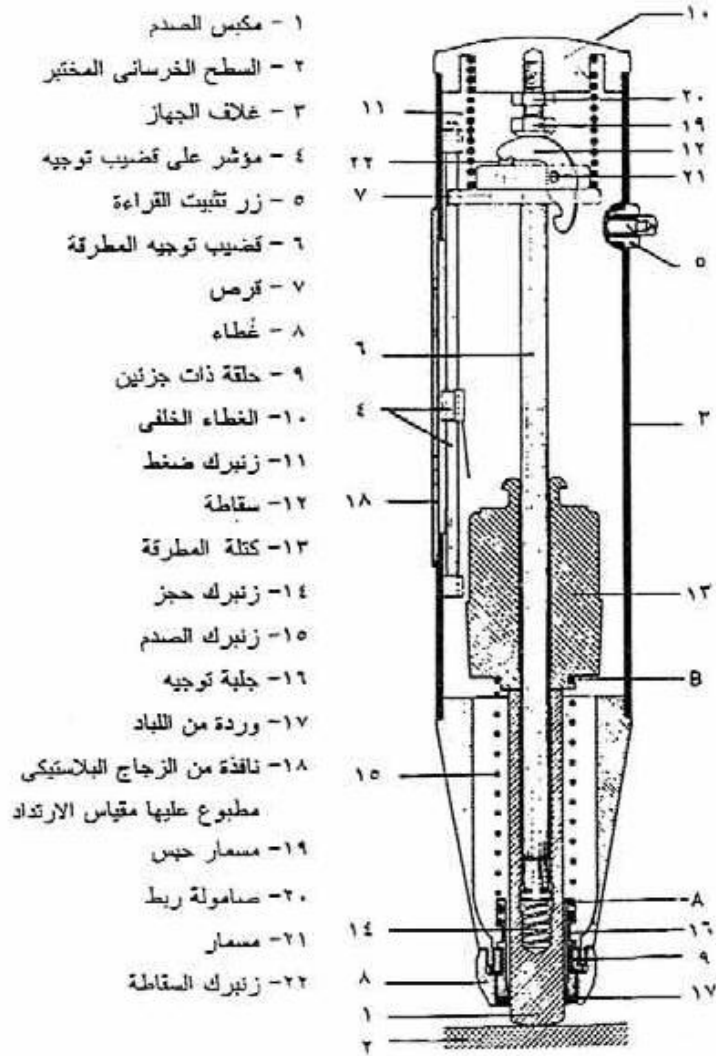
- درجة الدقة فى الخاصية المقدره للخرسانة من اختبار الصلادة لن تكون أفضل من حدود الثقة للعلاقة المستنتجة بين الخاصية وقراءات الصلادة. وتزيد الأخطاء إذا لم تكن العينات المستخدمة لاستنتاج العلاقة معثلة تماماً للمنشأ المختبر. وعموماً لا تزيد دقة الناتج (فى حالة ٩٥ % حدود ثقة) على ± ٢٥ % فى أفضل الحالات.

- الرقم المتوسط للارتداد تكون دقته $(\frac{\pm 15}{\sqrt{n}})$ بدرجة ثقة ٩٥ % حيث (n) : عدد القراءات عند الموقع الواحد.

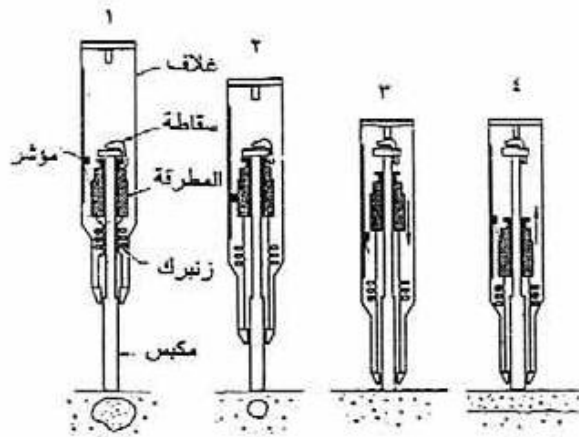
- معامل اختلاف القراءات فى الاختبار الواحد يتراوح ما بين ٢ - ١٥ % ويتناقص مع زيادة المقاومة وبتزايد مع زيادة كمية ومقاس الركام الكبير.

١١-٢-٨ المراجع

- BS 1881 Testing Concrete
 - Part 201 Guide for use of non-destructive methods of test for hardened concrete.
 - Part 202 Recommendations for surface hardness testing by rebound hammer.
- ACI 228 -89-R1 In-place Methods for determination of Strength of Concrete.
- ACI Monograph No. 9 Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods.
 - Part 108 Methods for making test cubes from fresh concrete .
 - Part 109 Methods for making test beams from fresh concrete .
 - Part 114 Methods for determination of density of hardened concrete.
 - Part 116 Methods for determination of compressive strength of concrete cubes.
 - Part 119 Methods for determination of compressive strength using portions of beams broken in flexure (equivalent cube method).



شكل (٨-٢-١) قطاع رأسى فى جهاز مطرقة الارتداد



شكل (٢-٢-٨) ترتيب وضع الأجزاء الرئيسية أثناء الاختبار.