خواص واختبارات الخرسانة الطرية

Properties and Testing of Fresh Concrete

١ـ المقدمة

تمر الخرسانة لحظة إضافة الماء لها وحتى إنتهاء عمرها الإفتراضى بالمراحل الثلاثة الآتية:

أ-الخرسانة الطرية

وهي الخرسانة التى تبدأ من لحظة إضافة الماء إلى مكونات الخرسانة الجافة وحتى لحظة حدوث زمن التجمد الإبتدائى. وتمتاز هذه المرحلة بالقدرة على الخلط والنقل والصب.

ب- الخرسانة الخضراء

وهي الخرسانة المتكونة فى الفترة من بدايةالتجمد الأسمنت وحتى بداية تصلد الخرسانة أى فى حدود ٢٤ ساعة. وفى هذه المرحلة لا يسمح للخرسانة بالخلط والنقل والصب لأنها تكون قد تجمدة وإنها لا تقوى على تحمل أى نوع من الإجهادات .

ج - الخرسانة المتصلدة

وهي تبدأ بتصلد الخرسانة (أى عند عمر ٢٤ ساعة) وحتى نهاية عمرها الإفتراضى وتمتاز هذه المرحلة بأنها بداية زيادة المقاومة الرئيسية للخرسانة (مقاومة الانضغاط) وقدرتها على مقاومة الأحمال بمرور الزمن .

وتتوقف خواص الخرسانة على التركيب البنائى لها والذى بدوره يتوقف على نوع المواد المكونة للخرسانة وكميتها كذلك النسب بينها وأيضاً مدى تجانس هذه المواد وتوزيعها وكيفية تماسكها مع بعضها وكذلك تتوقف خواص الخرسانة أيضاً على الظروف التى تتم فيها عملية تصلد الخرسانة. كما تتوقف جودة الخرسانة أيضاً على بعض خواص الخلطة الخرسانية والتى تجعلها قابلة للتشغيل والتشكيل والصب والدمك بأقل جهد ممكن وبصفة عامة فإن خواص الخرسانة وهي فى حالتيها الطرية والمتصلدة يجب أن تحقق المواصفات والشروط الخاصه لكل نوع من الخرسانة على حده.

٢ - اخذ عينات الفحص للخرسانة الطرية

يجب أن تكون العينة الكلية المأخوذة من الخرسانة الطرية ممثلة تماماً للخلطة كما يجب أن لا يقل حجمها عن ٣٠ لتر(٠,٠٣ متر مكعب) وتتكون هذه العينة من كميات مأخوذة من أماكن متفرقة من الخلطة. وتحضر العينة من الخلطة المجهزة فىموقع العمل Job site بالخلط اليدوي أو من الخلطة المجهزة بالخلاط الميكانيكى - وفى الحالة الأولى تجمع أجزاء العينة الكلية من اماكن متفرقة موزعة توزيعاً منتظماً فى الخلطة مع تجنب جرف الخلطة حيث يحتمل تواجد الإنفصال الحبيبى للخرسانةSegregation . أما فى حالة الخرسانة المخلوطة خلطاً ميكانيكيا فيفرغ الخلاط على دفعات متساوية تقريبا وتحضر أجزاء العينة من ثلاث كميات على الأقل تؤخذ أثناء تفريغ الخلاطة.

وتنقل العينة بعد ذلك إلى مكان الإختبار وتخلط خلطا تاما على سطح غيرمنفذ للماء بمجرفه أو ما يماثله لضمان تجانسها وبذلك تكون العينة معدة للإختبار مباشرة .و يجب مراعاة حماية عينة الإختبار من التأثيرات الجوية مثل الشمس والرياح والأمطار والأتربة وذلك فى الفترة بين تحضير العينة وإجراء الإختبارات التى يجب أن لا تزيد عن١٥ دقيقة ويراعى أن تسجل مع كل عينة البيانات التالية:

- تاريخ ووقت أخذ عينة الإختبار.
- الطريقة المستخدمة فى خلط الخرسانة.
- نسب مكونات المواد المكونة لخلطة الخرسانة.
- مكان الخلط.
- درجة الحرارة والظروف الجوية.

ويلاحظ أن خواص الخرسانة الطرية المطلوبة لمنشأ خرسانى معين تحدد طبقا لطبيعة المنشأ وكذلك أبعاد القطاعات الخرسانية وكثافة التسليح وتكنولوجيا تصنيع الخرسانة من حيث طريقة الخلط والنقل والصب والرص والمعالجة.

٣ - الخواص الرئيسية للخرسانة الطرية

للخرسانة الطرية أربعة خواص رئيسية هي:

١- قوام الخلطة الخرسانية Consistency
٢- قابلية التشغيل Workability
٣- الإنفصال الحبيبى Segregation
٤- النزيف (النضح) Bleeding

١- القـــوام Consistency

❐ تعريف القـوام:

- يعبر قوام الخرسانة الطرية عن درجة بلل الخرسانة Degree of Wetness فمثلًا يقال خرسانة جافة القوام Dry أو صلبة القوام Stiff أو لدنة القوامPlastic أو مبتلة القوامWet أو رخوة القوام Sloppy.

- ويمكن القول بأن قوام الخرسانة يعبر عن السيولة النسبية للخرسانة Relative Fluidity أى أنه يبين النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة.

❐ الغرض من تحديد القوام:

هو ضمان الحصول على خرسانة ذات درجة سيولة أو لدونة تتناسب مع مختلف الأعمال الإنشائية. كما أنه من أهم وأبسط الخواص التى تساعد على التأكد من إنتظامية خلطات الخرسانة الطازجة وتجانسها وضبط جودتها وذلك قبل الصب مباشرة.

❐ العوامل التى تؤثر على القوام:

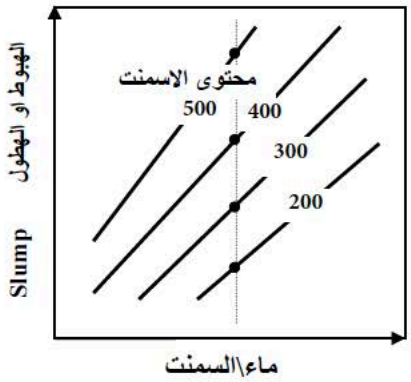
- نسبة مكونات الخرسانة: من ماء ورمل وحصى وأسمنت حيث يزداد الهبوط بزيادة محتوى الماء فى الخلطة. أو بزيادة نسبة الأسمنت. أو لصغر نسبة الرمل إلى الحصى أنظر شكل ١.

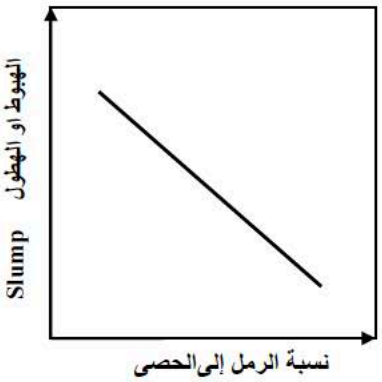
- نعومة الأسمنت (المساحة السطحية للأسمنت) حيث يزداد الهبوط بزيادة المساحة السطحية للأسمنت وحتى حوالى ٢٠٠٠ سم^{٢}/غم ثم تقل بعد ذلك بشرط ثبوت جميع العوامل الأخرى فى الخلطة الخرسانية كما هو مبين بالمنحنى شكل١.

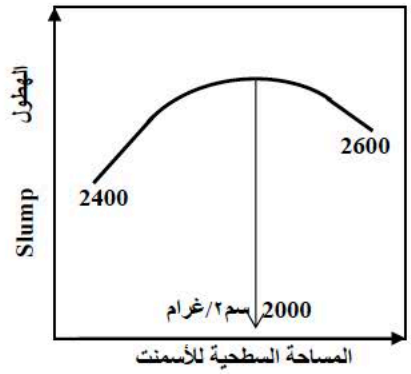
- المقـاس الإعتبـاري الاكبر للركام حيث يزداد الهبوط بزيادة ذلك المقاس ويقل كلما صغر حجم الحبيبات.

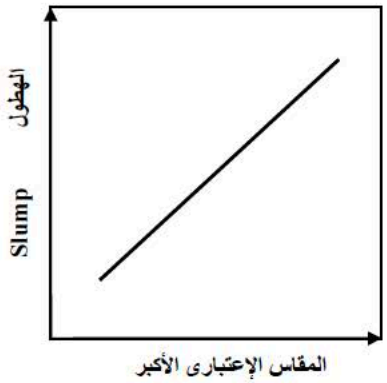
- الزمن بين الإنتهاء من خلط الخرسانة وبين إجراء إختبار الهبوط حيث يقل الهبوط بزيادة ذلك الزمن كما في الشكل ١ .

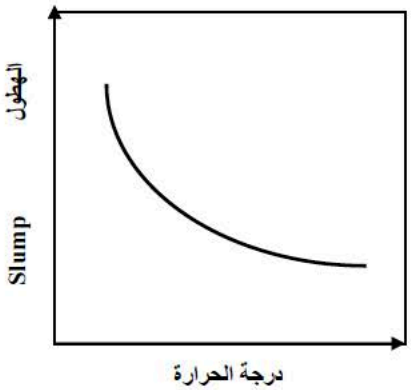
- حرارة الجـو: حيث يقل الهبوط كلما زادت حرارة الجو نتيجة تبخر جزء من ماء الخلط.
- الإضـافات :تعمل الإضافات على تحسين قوام الخرسانة بدرجات متفاوته وأهم هذه الإضافات الملدنات Superplasticizers وهي مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسبة ١ - ٣% من وزن الأسمنت.

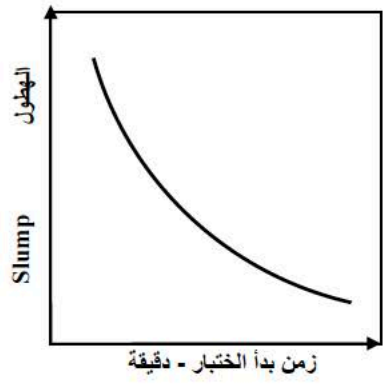












شكل (١)العوامل التى تؤثر على قوام الخرسانة.

❐ طرق تعيين القوام:

يوجد ثلاثة طرق رئيسية لتعيين قوام الخرسانة وهي:

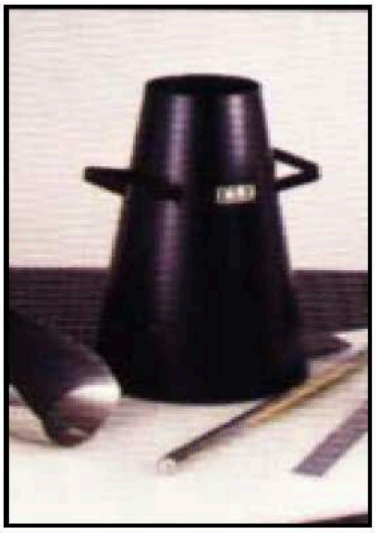
* هطول او هبوط الخرسانة بعد إزالة قالب التشغيل .Slump Test
* إنسياب الخرسانة الطرية بعد تعرضها لإهتزازات ترددية .Flow Test
* اختراق جسم معدني للخرسانة تحت تأثير وزنة .Ball Penetration Test

أولاً: اختبار الهبوط Slump Test

- الغرض من الاختبار: تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص وذلك إما فى المعمل أو فى موقع التنفيذ. وذلك للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية حيث أن أي تغيير فى نسبة الأسمنت أو كمية الماء والركام يؤثر على قيمة الهبوط. ويعتبر هذا الاختبار من أبسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة فى معامل الخلط وفى مواقع التنفيذ.

- قالب الاختبار: عبارة عن مخروط ناقص ومصنوع من معدن متين بسمك١,٥ ملم على الأقل مفتوح من ألاعلى ومن ألاسفل ، قطر فتحته العليا ١٠سم والسفلى٢٠ سم وإرتفاعه٣٠ سم كما بشكل (٢).

- قضيب الدمك: وهو سيخ من الصلب بقطر ١٥ملم وطول ٦٠ سم.



شكل (٢) قالب اختبار الهبوط وقضيب الدمك.

- طريقة إجـراء الاختبار:

- ينضف السطح الداخلي للقالب بحيث لا توجد به أى مياه عالقة أو آثار خرسانية.
- يوضع القالب على سطح أفقى أملس غير مُنفذ للماء على أن يثبت جيدًا.
- يملاء القالب على ثلاث طبقات إرتفاع كل منها يساوى ثلث إرتفاع القالب تقريباً على أن تدمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك ٢٥ مرة موزعه تقريبا على السطح وبشرط أن ينفذ القضيب إلى الطبقة التى تحتها.
- بعد الانتهاء من دمك الطبقة العليا للقالب يسوى سطحها مع حافة القالب.
- يرفع القالب بعد ملئه مباشرة فى إتجاه رأسى وببطء وعناية كما بشكل (٣).
- يقاس مقدار الهبوط Slumpبعد رفع القالب مباشرة وهو الفرق بين إرتفاع القالب وإرتفاع رأس عينة الخرسانة الطرية كما بشكل (4) يتم توصيف القوام إما جاف أو صلب أو لدن أو مبتل أو رخو وذلك طبقاً لقيمة الهبوط كما موضح بجدول(1) .

أما الجدول(2) فيوضح قيم استرشاديه للقوام ودرجة الدمك فى بعض الإنشاءات المختلفة.

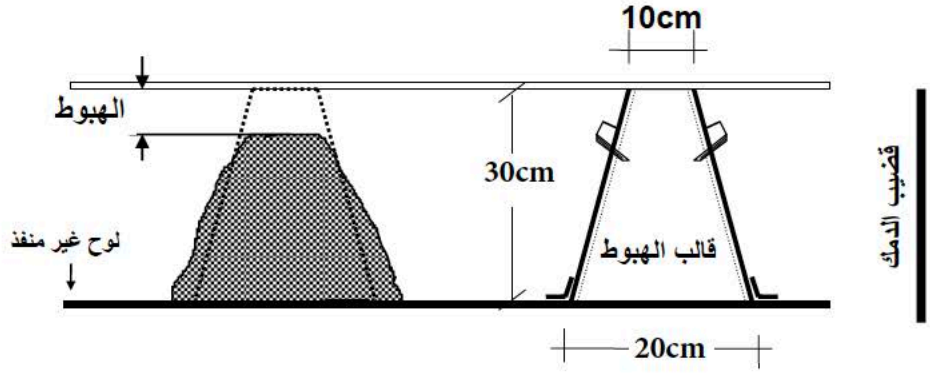
ملاحظـــات:

- يجب أن لا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر للركام المستخدم عن ٤٠ ملم.
- يجب أن لا تزيد الفترة بين إنتهاء الخلط وبداية إجراء الإختبار عن دقيقتين.
- تحدث ثلاثة أشكال مختلفة لحالة الهبوط فقد يكون هبوطاً حقيقياً True Slump أو هبوط قصShear Slump أو إنهيار Collapse وكمافي الشكل (٥) و (٦) .
- يراعى اعادة الإختبار على عينة أخرى فىحالة حدوث إنزلاق جانب Slipping فى العينة أو إنهيار .Collapse إذا تكرر ذلك فى حالة إعادة الإختبار فيقاس الهبوط و تسجيل ذلك مع النتيجة.

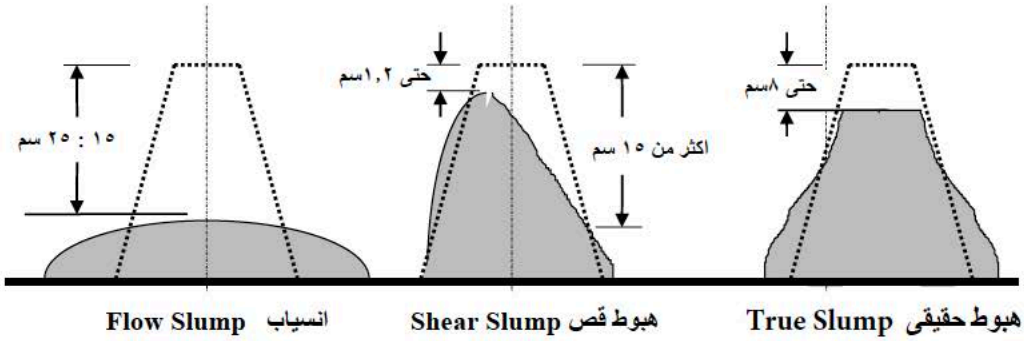
جدول (١) قيم الهبوط المناظرة لدرجات قوام الخرسانة المختلفة.

الهبـوط ملم	صفر-٢٠	١٠-٤٠	٣٠-١٢٠	١٨٠-٢٢٠	١٠٠-٢٠٠
قـوام الخلطـة الخرسانيـة Consistency	جاف Dry	صلب Stiff	لدن Plastic	مبتل Wet	رخو Sloppy

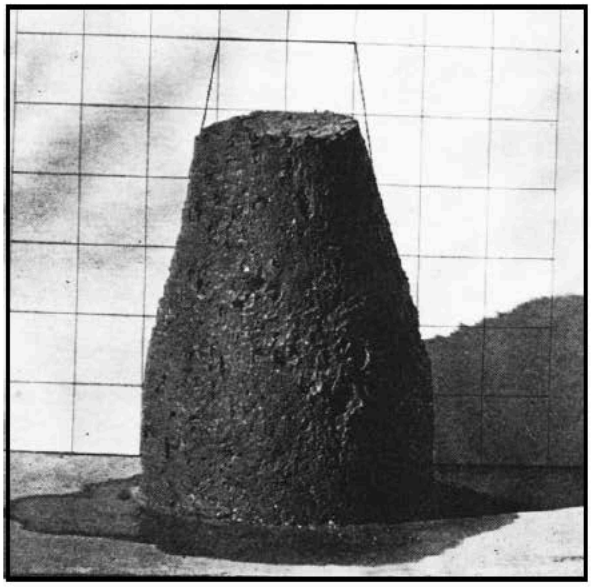
شكل (٣) رفع القالب بعد ملئه فى إتجاه رأسى.



شكل (٤) قياس الهطول لتحديد قوام الخرسانة الطرية .



شكل (٥) أشكال الهبوط المختلفة.

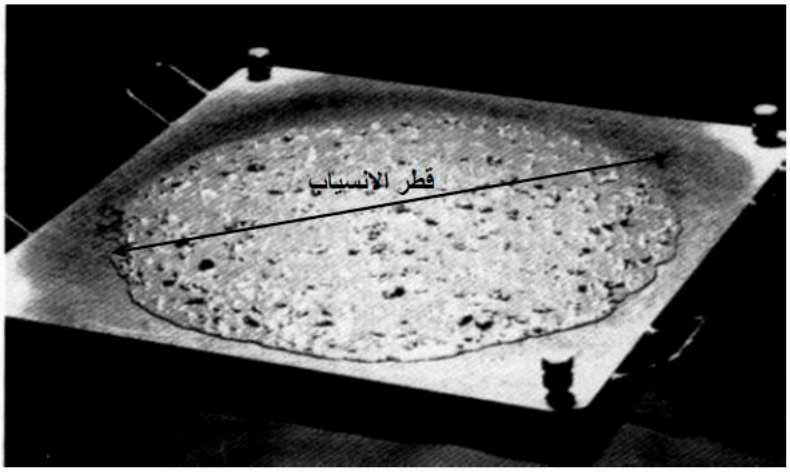


شكل (٦)نموذج للهبوط الحقيقى.

جدول (٢) القوام ومحتوى الأسمنت ومقاس الركام المناسب للأنواع المختلفة من الإنشاءات.

نوع العنصر الإنشائي	درجة الدمك	الهبوط ملم
خرسانة كتلية.	دمك ميكانيكي	صفر- ٢٥
القواعد الخرسانية خفيفة التسليح متوسطة التسليح. صبات خرسانية خفيفة التسليح.	دمك ميكانيكي	٢٥:٥٠
صبات خرسانية متوسطة وعالية التسليح. صبات خرسانية خفيفة التسليح.	دمك ميكانيكي دمك يدوي	٥٠ : ١٠٠
صبات خرسانية كثيفة التسليح.	دمك خفيف	١٠٠ : ١٢٥
أساسات عميقة وخرسانة قابلة للضخ مع استخدام إضافات كيميائية فائقة (ملدنات أو ملدنات فائقه)	دمك خفيف	١٢٥ : ٢٠٠

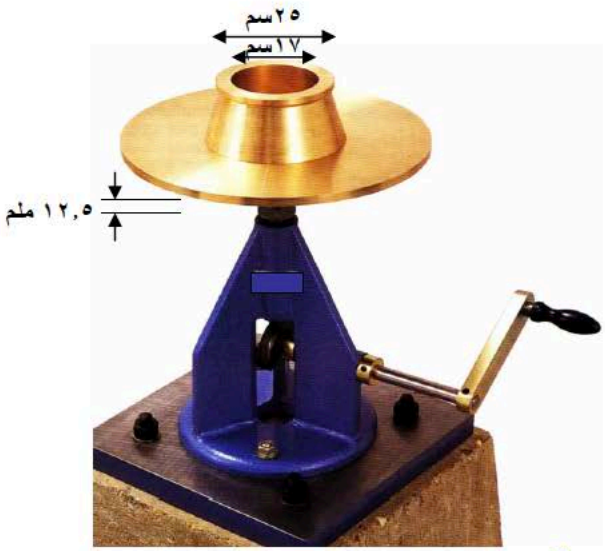
و تجدر الإشارة أنه فى حالة الخرسانة ذات درجة السيولة العالية أو التى يزيد فيها الهبوط عن ٢٢ سم مثل الخرسانة ذاتية الدمك فإنه يتم قياس انسياب الهبوط وهو القطر المتوسط للخرسانة المنسابة بعد رفع مخروط الهبوط . وفى الخرسانة ذاتية الدمك فيشترط أن لا يقل انسياب الهبوط عن ٧٠ : ٦٠ سم كما في الشكل (٧).



شكل (٧)انسياب الهبوط فى الخرسانة ذاتية الدمك.

ثانياً: اختبار الانسياب Flow Test

يختص هذا الاختبار بتعيين النسبة المئوية لانسياب الخرسانة والتى تُعبر عن حالة القوام وذلك بإجراء إهتزاز ترددى لمخروط ناقص من الخرسانة موضوع على لوح معدنى وتسجيل مدى إنتشار أو انسياب الخرسانة كنسبة مئوية من القطر الألي لقاعدة المخروط.



شكل (٧) جهاز الإنسياب لتحديد القوام.

الأجهزة :

- قالب ألختبار : وهو عبارة عن قالب معدنى على شكل مخروط ناقص ويكون هذا القالب مفتوحا من أعلى ومن أسفل بمستويين عموديين على محور المخروط.
- قرص الإنسياب (Flow Table) ويثبت القرص على قاعدة ثابته بإرتفاع من ٥٠-٤٠ سم بوزن ١٥ كغم على الأقل.

طريقة إجراء الإختبار:

١- ينظف القرص جيداً بالماء ثم يجفف بعناية حيث لا يبقى به أثر لماء التنظيف.

٢- يوضع القالب مثبتاً فى وسط القرص وذلك بالضغط على مقبضيه باليد.

٣- يملىء القالب على طبقتين إرتفاع كل منهما يساوى نصف الإرتفاع تقريبا على أن ترص كل طبقة بواسطة قضيب الرص القياسى ٢٥ مرة موزعة تقريبا بالتساوى على سطح المقطع المستعرض للقالب بشرط أن يَنفُذ القضيب إلى الطبقة التى تليها يراعى أن يكون نصف عدد ضربات الدمك فى إتجاه مائل إلى الخارج والنصف الثانى فى إتجاه رأسى.

٤- بعد الانتهاء من دمك الخرسانة للطبقة العليا للقالب يسوى سطحها مع حافة القالب بالمسطره مع مراعاة ملء القالب تماماً.

٥- تُزال الخرسانة الزائدة التىسقطت على قرص الإختبار عند تسوية السطح ثم ينظف جيداً حول قالب الإختبار.

٦- يُرفع القالب المعدنى بعد ملئه مباشرة من الخرسانة بإنتظام فى إتجاه رأسى.

٧- يرُفع القرص ويخفض بمعدل منتظم لمسافة ١٢,٥ ملم (١/٢انج) وذلك ١٥ مرة فى مدى حوالى ١٥ ثانية.

٨- تقاس قاعدة الخرسانة المنسابة نتيجة الرفع والخفض المذكورة ويكون القياس لقطر القاعدة فى ٦ إتجاهات مختلفة ثم يؤخذ متوسط هذه القراءات ليمثل قطر الإنسياب لقاعدة المخروط الخرسانى بعد إنسياب الخرسانة.

٩- تحسب النسبة المئوية لإنسياب الخرسانة (لأقرب ٥ ملم) بإعتبارها النسبة المئوية لزيادة قطر الإنسياب عن قطر القاعدة الأصلية وكما يلي:

$$\text{النسبة المئوية للانسياب} = \frac{\text{قطر الإنسياب (سم)} - ٢٥}{٢٥} \times ١٠٠$$

حيث أن قطر القاعدة الأصلي للمخروط الخرسانى يساوى ٢٥ سم

ويعتبر اختيار الإنسياب اختبارا معملياً فى معظم الحالات نظراً لعدم سهولة تواجد الجهاز فى موقع العمل. ويمثل الجدول الآتى النسب المئوية للإنسياب عند درجات القوام المختلفة.

جدول (٣) العلاقة بين قوام الخلطة والإنسياب.

النسبة المئوية للانسياب	صفر-٢٠%	١٥ -٦٠%	٥٠-١٠٠%	٩٠- ١٢٠ %	١١٠-١٥٠ %
قوام الخلطة الخرسانية Consistency	جاف Dry	صلب Stiff	لدن Plastic	مبتل Wet	رخو Sloppy

ثالثاً: إختبار كرة الإختراق (كيلى) Ball Penetration Test

وهذه الطيقه يحدد بها قوام الخرسانة بيسر ودقة عاليين وهو اختبار مشابه للهابط إلا أنه أسهل منه وأسرع . و يتكون الجهاز أساساً من ثقل على شكل نصف كرة نصف قطرها ١٥سم ووزنها ١٣,٦ كغم يتصل بها يد عليها مقياس مدرج والكل ينزلق من فتحة داخل إطار كما فى شكل (٩) ويمكن وضع هذا الإطار على سطح الخرسانة المراد قياس قوامها كما أن هذا الإطار يصلح فىنفس الوقت لإستخدامه كمستوى ثابت للمقارنة وقت الاختبار ويلاحظ أن جميع أجزاء الجهاز تصنع الصلب أو أى معدن مشابه.

طريقة إجراء الاختبار:

يمكن وضع الخرسانة فى وعاء أو يمكن إجراء الإختبار والخرسانة فى مكانها داخل الفرم (القالب) بعد صبها مباشرة ، وفى الحالتين يجب ألا يقل سمك الخرسانة عن ١٥ سم وأن يكون لها سطحاً مستوياً بأقل بعد يساوى ٣٠ سم. ويجب جعل سطح الخرسانة مستوياً وناعماً.

يوضع الجهاز بعناية فوق سطح الخرسانة مع رفع اليد إلى أعلى وجعل الإطار يرتكز برفق فوق السطح ثم تترك اليد لتنزلق داخل الإطار. تُقرأ مسافة إختراق الثقل داخل الخرسانة مباشرة على اليد المدرجة لأقرب ٥ ملم .يؤخذ متوسط عدة قراءات فى أماكن متفرقة. وتفيد هذه الطريقة فى بيان ومقارنة قوام الخرسانة عند صبها مباشرة داخل القالب.

شكل (٩) جهاز كرة كيلى لقياس القوام.