جامعة الانبار
كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

فحوصات الخرسانة

Concrete Tests

اعداد التدريسي
أ. م . محمد حمود مهنا

2021 - 2020

الخرسانة Concrete

تحتل الخرسانة مكان الصدارة في مواد البناء المستعملة في تنفيذ المشاريع. فقد تطورت وتحسنت طرق انتاجها وصناعتها بصورة هائلة وتعددت أنواعها المنتجة تبعا" للأغراض المستعملة من اجلها في المجالات المختلفة عن طريق تنوع مكوناتها أو باستعمال الإضافات أو تنوع طرق الإنتاج.

ما هي الخرسانة

الخرسانة مادة مركبة (Composite Material) تتكون من المادة المالئة (Filler) كالركام (Aggregate) المنتشرة في نسيج المادة الرابطة (عجينة الاسمنت)، والتي تملأ الفراغات بين جزيئات الركام وتربطها سوية، ويمكن اضافة بعض المواد الأخرى (المضافات Admixtures) للحصول على خواص معينة.

بعض مصطلحات الخرسانة

1-الخرسانة (Concrete) = مادة مالئة (Filler) + مادة رابطة (Binder)

2-عجينة الاسمنت (Cement Paste) = الاسمنت (Cement) + الماء (Water)

3-مونة الاسمنت (Mortar) = الركام الناعم (Fine Aggregate) + عجينة الاسمنت (Cement Paste)

4-الخرسانة الاعتيادية (Plain Concrete) = الركام الخشن والناعم (Coarse & Fine Agg) + عجينة الاسمنت (Cement Paste)

5-الخرسانة المسلحة = الركام الخشن والناعم + عجينة الاسمنت + حديد التسليح
Steel + Cement Paste + (Coarse & Fine Agg) = Reinforced Concrete

6-الخرسانة المسلحة الخاصة = الركام الخشن والناعم + عجينة الاسمنت + حديد التسليح + المضافات
Admixture + Steel + Cement Paste + Coarse & Fine Agg = Special Steel Concrete

الفصل الاول

الاسمنت البورتـــلانـدي *Portland Cement*

فحوصات الاسمنت

إن الفحوصات التي تجري على الخواص الفيزيائية للإسمنت هي :-
فحص النعومة (Fineness)
فحص القوام القياسي (Standard Consistence)
فحص زمن التجمد (Setting time)
فحص الثبات (Soundness)
فحص مقاومة الاسمنت (Strength of cement)

1- فحص النعومة Fineness Test

توصف نعومة الاسمنت بدلالة المساحة السطحية النوعية (Specific surface) وذلك بحساب مجموع المساحة السطحية لحبيبات الاسمنت بالسنتمتر المربع لكل غرام من الاسمنت وكلما زادت نعومة الاسمنت زادت المساحة السطحية النوعية .
يتم تعيين المساحة السطحية للإسمنت بطريقة (Blaine) وذلك بقياس الزمن الذي يستغرقه مرور حجم معين من الهواء خلال طبقة محضرة من الاسمنت ذات مساحة معلومة . يعتمد عدد وحجم المسامات الموجودة في طبقة الاسمنت المحضرة ذات المسامية المعلومة على حجم ذرات الاسمنت والتي تعتبر العامل المحدد لسرعة مرور الهواء خلال تلك الطبقة .

او تفحص نعومة الاسمنت بواسطة منخل رقم 325 (45 مايكرون) حسب المواصفات العراقية او على المنخل رقم 170(90 مايكرون) حسب المواصفات البريطانية.

الغرض من الاختبار:- Purpose of Test

لإيجاد نعومة الاسمنت البورتلاندي.

الادوات والاجهزة المستعملة:- Apparatus and Device

1- منخل رقم 325(45 مايكرون) مع غطاء وقاعدة,
2- ميزان حساس.
3- فرشاة حديدية لتنظيف المنخل.

طريقة الفحص:- Test Method

1- يوزن (500) غم من الاسمنت البورتلاندي المراد فحصه.
2- يتم نخل الاسمنت على منخل رقم 325 (45 مايكرون) مع ملاحظة وجود الغطاء والقاعدة بواسطة هزاز لمدة 20 دقيقة.
3- توزن الكمية المتبقية على المنخل رقم 325(45 مايكرون) وبعد تنظيفه نهائيا" بواسطة الفرشاة (W).

النتائج والحسابات:-

1- وزن الاسمنت = 500 غم
2- وزن الاسمنت المتبقي = W

$$3- \text{ نسبة الاسمنت المتبقي} = 100 \times \frac{W}{500}$$

تحدد المواصفات العراقية (م.ق.ع رقم 1984/5) أن لا تزيد نسبة الاسمنت المتبقي على 10% للإسمنت البورتلاندي الاعتيادي و(5 %) وزناً للإسمنت البورتلاندي السريع التصلب.

2- اختبار القوام القياسي Standard Consistence Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test

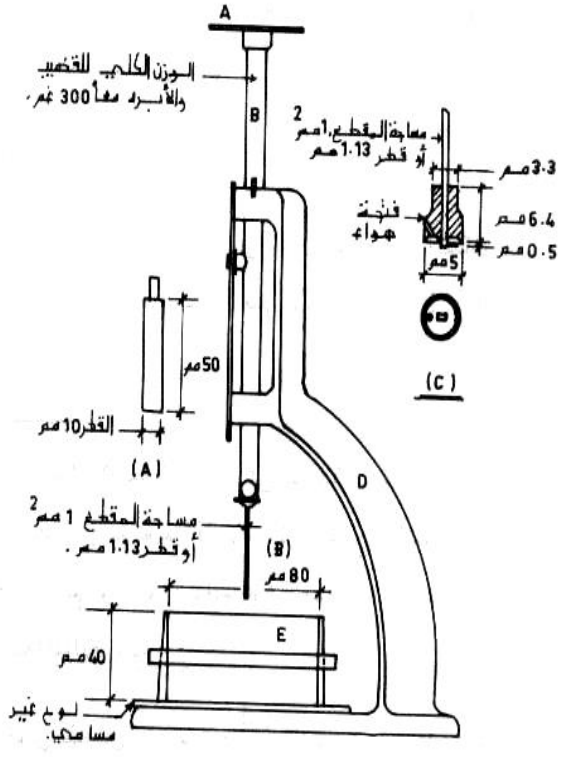
ان الغرض من اجراء هذا الفحص لإيجاد كمية الماء اللازمة لإنتاج عجينة الاسمنت ذات القوام القياسي والتي تستعمل لتعيين زمن التجمد الابتدائي والنهائي وفحص الثبات (Soundness) لعجينة الاسمنت.
إن كمية الماء اللازمة لتحضير عجينة الاسمنت ذات القوام القياسي هي الكمية التي تسمح للطرف الاسطواني قطره (10) ملم لجهاز فيكات بالنفاذ داخل العجينة إلى نقطة تبعد بمقدار (7 – 5) ملم من قاع قالب فيكات (40*80) ملم عند فحص الاسمنت.

الادوات والاجهزة المستعملة :- apparatus and Device

1- جهاز فيكات (Vicat apparatus) شكل رقم (1) .

2- قالب فيكات يكون من المطاط الصلد وعلى شكل مخروط ناقص عمق (40 ± 0.2) مم القطر الداخلى العلوى (70 ± 5) مم والسفلى (80 ± 5) ملم.
3- لوح زجاجي ابعاده (300 * 300) **ملم.**
4- مالج تسوية.

شكل رقم (1) جهاز فيكات



شكل رقم (1) جهاز فيكات

طريقة الاختبار:- Test Method

الطريقة المتبعة في هذا الاختبار مبنية على المواصفات البريطانية (B.S.12:part 2:1971).

1- تحضر كمية من الاسمنت وزنها 400 غم (بواسطة ميزان دقته 1غم) وتخلط مع كمية من الماء (تتراوح بين 26-33 % من وزن الاسمنت الجاف) على لوح زجاجي(ابعاده 300 * 300) ملم بصورة جيدة لمدة 4 ± 4/1 دقيقة وهذه المدة تقاس من لحظة اضافة الماء الى الاسمنت الجاف حتى بدأ ملء قالب فيكات بعجينة الاسمنت.
2- يملأ قالب فيكات المرتكز على لوح زجاجي غير مسامي بعجينة الاسمنت السابق تحضيرها بصورة تامة وبدفعة واحدة ثم يسوى سطح العجينة مع حافة القالب بسرعة وباستخدام المالج.
3- يوضع القالب المملوء بالعجينة داخل جهاز فيكات تحت عمود المرود (الغطاس قطره 10 ملم) ويخفض المرود بهدوء حتى يلامس سطح العجينة ويترك ليغطس بصورة حرة تحت تأثير وزنه, وتتم هذه العملية بعد ملا القالب مباشرة.
4- يحدد مقدار نفاذ المرود (الغطاس) في عجينة الاسمنت بتعيين المسافة بين قاعدته وقاعدة القالب بواسطة التدرج الموجود على الجهاز.
5- يعاد عمل عجائن تجريبية اخرى بكميات ماء مختلفة وتكرر نفس خطوات العمل اعلاه للوصول الى كمية الماء التي تعطي عجينة اسمنت ذات قوام قياسي (الكمية التي تسمح للطرف الاسطواني لجهاز فيكات بالنفاذ داخل العجينة إلى نقطة تبعد بمقدار 5-7 ملم من قاع قالب فيكات).

3- فحص زمن التجمد Setting Time Test

يتم هذا الاختبار باستعمال جهاز فيكات ويشمل على تعيين زمن التجمد الابتدائي (Initial setting) وزمن التجمد النهائي (Final setting).
إن زمن التجمد الابتدائي هو الفترة المحصورة بين وقت إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف ووقت نفاذ إبرة جهاز فيكات في عجينة الاسمنت إلى مسافة لا تزيد عن 5 ملم تقريبا" من قاع قالب فيكات.
أما زمن التجمد النهائي (Final setting time) فهو الفترة المحصورة بين لحظة إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف واللحظة التي تترك إبرة جهاز فيكات أثرا" بعجينة الاسمنت بينما لا يظهر الأثر الدائري للجزء المثبت حول الإبرة.

الغرض من الاختبار Purpose of Test

تعيين زمن التجمد الابتدائي (Initial setting) وزمن التجمد النهائي (Final setting) للاسمنت.

الادوات والاجهزة المستعملة apparatus and Device

1- جهازفيكات (Vicat apparatus) .

2- قالب فيكات يكون من المطاط الصلد وعلى شكل مخروط ناقص عمق (40 ± 0.2) مم القطر الداخلى العلوى (70 ± 5) مم والسفلى (80 ± 5) مم

3- لوح زجاجي (ابعاده 300 * 300)**.**
4- مالج تسوية.

طريقة الفحص Test Method

الطريقة المتبعة في هذا الاختبار مبنية على المواصفات البريطانية (B.S.12:part 2:1971).

1- يتم عمل عجينة اسمنت ذات قوام قياسي وحسب خطوات العمل في اختبار القوام القياسي.
2- يملا قالب فيكات بصورة تامة بالعجينة ثم يسوى سطح العجينة مع حافة القالب.

لإيجاد زمن التجمد الابتدائي:-

3- يوضع قالب فيكات أسفل الإبرة (ابرة مدورة او مربعة مساحة مقطعها 1 ملم2) المثبتة في جهاز فيكات.
4- تخفض الابرة ببطء حتى تلامس سطح العجينة ثم تترك لتنفذ في العجينة تحت تأثير الوزن الكلي للحامل والابرة (300غم).
5- تكرر نفاذ الابرة في العجينة في مواضع مختلفة منها الى ان تنفذ الابرة الى مسافة لا تزيد عن (5ملم) من قاعدة القالب . وعندها يحسب زمن التجمد الابتدائي **(زمن التجمد الابتدائي هو الفترة المحصورة بين وقت إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف ووقت نفاذ إبرة جهاز فيكات في عجينة الاسمنت إلى مسافة لا تزيد عن 5 ملم تقريبا" من قاع قالب فيكات).**

لإيجاد زمن التجمد النهائي:-

تستبدل الابرة المستخدمة في فحص التجمد الابتدائي (ابرة مدورة او مربعة مساحة مقطعها 1ملم^2) بأخرى (ابرة مربعة مساحة مقطعها 1ملم2 مثبتة مع حلقة معدنية دائرية). وتكرر الخطوة 3 و 4 اعلاه.

6- تكرر نفاذ الابرة في العجينة في مواضع مختلفة منها الى ان تترك الابرة اثرا" على العجينة دون ظهور الاثر الدائري للحلقة المعدنية المثبتة حولها. وعندها يحسب زمن التجمد النهائي **(زمن التجمد النهائي هو الفترة المحصورة بين لحظة إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف واللحظة التي تترك إبرة جهاز فيكات أثرا" بعجينة الاسمنت بينما لا يظهر الأثر الدائري للجزء المثبت حول الإبرة).**

ملاحظة:-
يجب ان تتراوح درجة حرارة المواد والغرفة التي يجري بها الفحص بين 23-18 م°

<u>تحديدات المواصفات</u>

تنص المواصفات العراقية والبريطانية على ان:-
زمن التجمد الابتدائي لا يقل عن 45 دقيقة وزمن التجمد النهائي لا يزيد عن 10 ساعة .

ملاحظة:-
ان تحديد وقت التجمد الابتدائي بما لا يقل عن (45) دقيقة لأجل اتمام عملية الخلط والنقل والصب والتسوية للاسمنت في هذا الوقت قبل تماسك الاسمنت, اما تحديد وقت التجمد النهائي بما لا يزيد عن (10) ساعة لغرض التسريع في رفع القوالب الخاصة بالصب.

اختبار الثبات Soundness Test

يتم اختبار الثبات للاسمنت بطريقة (Le-Chatelier) وذلك بمعرفة مقدار التمدد لعجينة الاسمنت . وتشترط المواصفات البريطانية والعراقية بان لا يزيد تمدد الاسمنت المفحوص بهذه الطريقة عن 10 ملم.

الغرض من الاختبار Purpose of Test

تحديد ثبات الاسمنت بطريقة لي شاتليه لمعرفة مقدار التمدد لعجينة الاسمنت.

الادوات والاجهزة المستعملة:- Apparatus and Device

1- جهاز لي شاتليه شكل (2).
2- لوح زجاجي.
3- ميزان حساس
4- اسطوانة قياس ماء.
5- سكينة خلط الاسمنت.
6- حمام مائي.

شكل (2) جهاز لي شاتليه

طريقة الاختبار Test Method

الطريقة المتبعة في هذا الاختبار مبنية على المواصفات البريطانية (B.S.12:part 2:1971).

1- تحضر عجينة اسمنت ذات قوام قياسي باستخدام (200غم) من الاسمنت وحسب الطريقة المتبعة في فحص القوام.
2- يوضع القالب على لوح زجاجي صغير ويملا بعجينة الاسمنت مع الاحتفاظ بشقي القالب بصورة منطبقة قدر الامكان بحيث لا تزيد الفتحة بين الشقين عن (0.5ملم).
3- يغطى القالب بلوح زجاجي اخر ويوضع فوقه ثقل صغير.
4- يغمر القالب مع لوحيه الزجاجيين بعد ذلك مباشرة في ماء نظيف درجة حرارته (19±1) م° ويترك لمدة (24 ساعة).
5- يرفع القالب من الماء وتقاس المسافة بين طرفي مؤشري القالب.
6- يغمر القالب ثانية في ماء درجة حرارته (19م°) وترفع درجة حرارة الماء تدريجيا" الى ان تصل الى درجة الغليان خلال مدة (25-30) دقيقة ويستمر الغليان لمدة ساعة واحدة.

7- يرفع القالب من الماء ويترك ليبرد ثم تقاس المسافة بين طرفي مؤشري القالب للمرة الثانية.
8- يحسب الفرق بين القرآءتين للمسافة بين طرفي مؤشري القالب ويكون معبرا" عن تمدد الاسمنت.

تحديدات المواصفات:-
تنص المواصفات البريطانية على ان لا يزيد تمدد الاسمنت المفحوص بهذه الطريقة على 10 ملم.
وفي حالة عدم مطابقة الاسمنت لهذا الشرط يعاد اختبار ثبات الحجم على عينة من نفس الاسمنت بعد تهويته لمدة أسبوع وذلك بفرشه بارتفاع 75ملليمتر تقريبا على سطح جاف رطوبته النسبية 50-80% وفي هذه الحالة لا يزيد تمدد الأسمنت على 5مم.

اختبار مقاومة الاسمنت Strength Of Cement Test

ان من أهم الخواص اللازمة للأغراض الإنشائية هي المقاومة الميكانيكية للإسمنت.
تعتمد مقاومة الملاط (Mortar) أو الخرسانة على: -

1- تماسك (Cohesion) عجينة الاسمنت.
2- تلاصق (Adhesion) عجينة الاسمنت بحبيبات الركام.
3- مقاومة حبيبات الركام.

اختبار مقاومة الانضغاط Compressive Strength Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test

تعيين مقاومة الانضغاط لملاط الاسمنت (مونة الاسمنت).

الادوات والاجهزة المستعملة:- Apparatus and Device

1 ماكنة اهتزاز
2- قوالب مكعبات (70,7± 0.1) ملم
3 ماكنة قياس الضغط
4- ميزان حساس.
5- اسطوانة قياس الماء
6- مالج خلط.

طريقة الاختبار:- Test Method

الطريقة المتبعة في هذا الاختبار مبنية على المواصفات البريطانية (B.S.12:part 2:1971).

لاختبار مقاومة الانضغاط لملاط الاسمنت تستعمل مكعبات (عدد 6) بأبعاد (70*70 ±0.1) ملم وبنسبة خلط جزء واحد من الاسمنت إلى ثلاثة أجزاء(بالوزن) من الرمل القياسي. حيث يتم خلط (200) غم من الاسمنت مع (600) غم من الرمل القياسي مع (80) غم من الماء لكل مكعب حيث يخلط الاسمنت مع الرمل القياسي بحالتهما الجافة اولا بالمالج وعلى سطح غير مسامي لمدة دقيقة واحدة ثم يضاف الماء وتخلط لمدة (4) دقائق اخرى وبعد ذلك يثبت القالب على ماكنة الاهتزاز ويفرغ ملاط الاسمنت في القالب ويرص بواسطة جهاز اهتزاز قياسي لمدة دقيقتين بعدها يرفع القالب ويوضع في جو رطوبته النسبية لا تقل عن 90% ودرجة حرارة 19+1 درجة مئوية لمدة (24)

ساعة وتغطى القوالب بلوح مستوي وغير مسامي مثل المطاط لتقليل التبخر . بعد مرور (24) ساعة ترفع المكعبات من القالب وتوضع عليها علامات لغرض تميزها ثم تغمر مباشرة في ماء درجة حرارته 19+1 درجة مئوية وتترك لحين الاختبار.
وتفحص ثلاث مكعبات بعد (3) أيام والثلاثة الأخرى بعد (7) أيام.

$$\text{مقاومة الانضغاط} = \frac{P}{A}$$

حيث:-
P = القوة المسببة لفشل النموذج (نيوتن)
A = مساحة سطح النموذج (ملم^2)

الرمل القياسي:-
1-يكون مغسولا" ومجففا".
2- ان لا يزيد ما يفقده بالغسل بحامض الهيدروليك الساخن عن (0.25%) ويجري التاكد من ذلك بوزن 2غم من الرمل المجفف بدرجة 100م لمدة ساعة ويضاف اليه 20 مللتر من حامض الهيدروكلوريك (وزنه النوعي 1.16) و 20 مللتر ماء مقطر ويسخن فوق حمام مائي لمدة ساعة ثم يرشح ويغسل جيدا" بالماء الساخن ويجفف ثم يحرق في جفنة خزفية مغطاة سبق وزنها ثم يبرد ويوزن.
3- ان يمر بكامله من منخل قياسي سعة فتحته 850 مايكرون (رقم 18) ولا يتجاوز المار من منخل600 (رقم 25) عن 10% من وزنه.
تحدد المواصفات البريطانية:(B.S.12). معدل الانضغاط لثلاث مكعبات من ملاط الاسمنت (مونة الاسمنت) كما يلي:-

<u>*- الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي</u>

بعد (3) أيام لا يقل عن 15 نيوتن/ مم^2.
بعد (7) أيام لا يقل عن 23 نيوتن / مم^2 وهذه يجب أن تكون اكبر من مقاومة الانضغاط لثلاثة أيام.

<u>*- الاسمنت البورتلاندي سريع التصلب</u>

بعد (3) أيام لا يقل عن 21 نيوتن/ مم^2.
بعد (7) أيام لا يقل عن 28 نيوتن / مم^2 وهذه يجب أن تكون اكبر من مقاومة الانضغاط لثلاثة أيام.

<u>الشد المباشر (Direct Tension)</u>

في هذا الفحص تستخدم عينات من ملاط الاسمنت (عدد 6) على شكل الرقم 8 وبأبعاد محددة وتحسب مقاومة الشد لملاط الاسمنت من حاصل قسمة الثقل الذي ينكسر فيه النموذج على المساحة المعرضة لهذا الثقل.

<u>الانثناء (Flexure)</u>
هذا الفحص يحدد مقاومة الشد (Tensile Strength) بالانحناء (Bending) وذلك لان عجينة الاسمنت تكون أقوى تحت تأثير الانضغاط (Compression) عما هي تحت الشد (Tension).

الفصل الثالث

ركام الخرسانة
Concrete Aggregate

ركام الخرسانة Concrete Aggregate

إن خواص ونوعية الركام المعدني (Mineral aggregate) له تأثير كبير على الخرسانة وخواصها لكونه يشغل حوالي (70 – 75) % من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية.
يتكون الركام من حبيبات صخرية متدرجة بالحجم منها حبيبات كبيرة كالحصى (Gravel) والأخرى صغيرة كالرمل (Sand) ويشمل على المادة المالئة الخاملة نسبيا" والمنتشرة خلال عجينة الاسمنت في الخرسانة إذ يعطي للخرسانة استقرارها ومقاومتها للقوى الخارجية والعوامل الجوية كالحرارة والرطوبة والانجماد, كما ويقلل الركام التغيرات الحجمية الناتجة عن تجمد وتصلب عجينة الاسمنت أو تعرض الخرسانة للرطوبة والجفاف, لذلك فان الركام يعطي للخرسانة متانة أفضل مما لو استعملت عجينة الاسمنت لوحدها.

إن من أهم المتطلبات الواجب الانتباه إليها عند اختيار الركام هي :-
1- اقتصادية الخليط.
2- المقاومة الكامنة للكتلة المتصلبة.
3- تدرج حبيبات الركام يجب أن يكون مناسبا" للحصول على هيكل حرساني كثيف والسيطرة على قابلية التشغيل للخرسانة الطرية.

اختبارات الركام Aggregates Tests

1- تحديد عينات الركام (النمذجة) Sampling of aggregates

عند اخذ عينة من الركام للاختبار يجب أن تمثل هذه العينة بصورة صحيحة المجموعة المأخوذة منها وهذه تدعى بالعينة النموذجية, فلا يجوز اخذ العينة من القمة أو القاعدة لأكوام الركام لان قمة الأكوام تحتوي على نسبة عالية من الحبيبات الصغيرة بينما تحوي القاعدة الحبيبات الكبيرة.
يجب ان يطابق وزن العينة للركام الحد الادنى المبين في الجدول ادناه :-

الحد الادنى لوزن عينة النخل للركام (كغم)	الحد الاعلى لمقاس حبيبات عينة الركام	
	(انچ)	(مم)
15	1.5	38.1
2	3/4	19.05
0.5	3/8	9.52
0.2	3/16	4.75
0.1	رقم 7	2.36

وهنالك طريقتان لأخذ العينة للركام هما:-

أ- التقسيم الربعي (اليدوي) Quartering

الغرض من الاختبار Purpose of Test

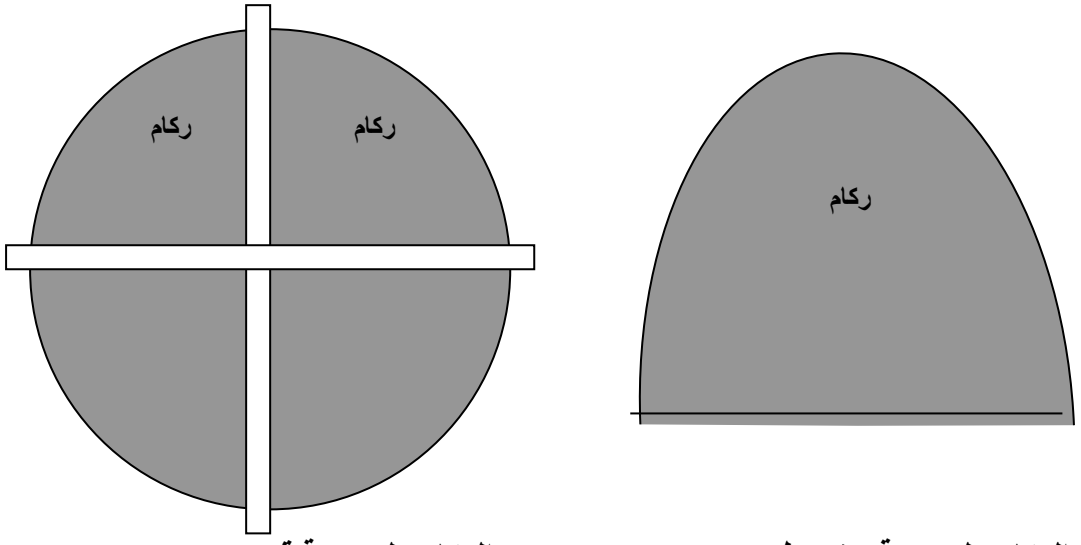
الحصول على عينة تمثل المجموعة المأخوذة منها بصورة صحيحة.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

*- مجرفة.

طريقة الاختبار:- Test Method

بموجب هذه الطريقة تخلط العينة الرئيسية بصورة جيدة وفي حالة الركام الناعم يتم ترطيبه وذلك لتجنب الانعزال . تجمع المادة على هيئة مخروط(شكل 1- أ) ثم تقلب لتكوين مخروط جديد حيث تكرر هذه العملية لمرتين وتترك لتنساب على سطح المخروط وبذلك سيتم سقوط الحبيبات (ذات المقاسات المماثلة) وتوزيعها بصورة متساوية حول محيط المخروط. بعد ذلك يسوى المخروط النهائي على هيئة قرص مستدير(شكل 1- ب) بصورة تدريجية الى ان يتم نشر المادة بسمك واحد ثم يقسم الى اربعة اقسام متساوية ويبعد ربعان متقابلان من الاقسام الاربعة ويجمع الجزءان الاخران الى مخروط بطريقة مماثلة ويتم تسويته و ابعاد الربعين المتقابلين وتكرر هذه العملية الى ان يتم الحصول على الكمية المطلوبة من العينة .



أ- الركام على هيئة مخروط **ب- الركام على هيئة قرص مستدير**

شكل (1) التقسيم الربعي

ب- التقسيم النصفي (الآلي) Riffing

الغرض من الاختبار Purpose of Test

الحصول على عينة تمثل المجموعة الماخوذة منها بصورة صحيحة.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

*- جهاز قاسم العينات شكل (1).
*- مجرفة.

شكل (2) جهاز قاسم العينات

طريقة الاختبار Test Method

بموجب هذه الطريقة تقسم العينة الى نصفين باستعمال الجهاز المخصص لهذا الغرض والمعروف بقاسم العينات اذ يتكون من صندوق يحوي عددا من التقسيمات العمودية المتوازية مع صندوقين اخرين يوضعان على جانبيه وذلك لغرض تجميع العينة المقسمة . يتم تفريغ العينة الرئيسية على العرض الكلي لصندوق قاسم العينات وبذلك ستنقسم الى جزئيين ويتم تجميعها في الصندوقين الكائنين على جهتي صندوق قاسم العينات وبعد ذلك يهمل احد الجزئين ويقسم الجزء الاخر بطريقة مماثلة وتكرر عملية تقسيم العينة الى 1/4 ثم الى 1/8 وذلك الى ان يتم الحصول على الوزن المطلوب من العينة.

2- اختبار الكثافة الكلية للركام Aggregates Bulk Density Test

هي وزن وحدة حجم الركام بالهواء وفي درجة حرارة معينة (ويشمل ذلك المسامات الغير منفذة والمنفذة الموجودة في الركام) وتقاس بالكيلو غرام للمتر المكعب.
عند تحديد كميات المواد على أساس حجمي فيجب معرفة الحالة التي يقاس عندها حجم الركام . فالركام إما أن يكون سائبا" (Loose) أو مرصوصا" (Compacted) أو قد يكون جافا" أو رطبا" أو مبتلا".
والظروف القياسية لقياس حجم الركام هو أن يكون جافا" ومرصوصا".

تعتمد الكثافة الكلية للركام على :-

1- حالة الرطوبة للركام.
2- درجة الرص للركام.
2- تدرج الركام.
4- شكل الحبيبات وملمسها السطحي.

أ- اختبار الكثافة الكلية الغير مرصوصة Loose Bulk Density Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test

تعيين الكثافة الكلية للركام الغير مرصوص في الهواء(ويشمل المسامات الكتيمة والمنفذة) لغرض مقارنة خواص انواع مختلفة من الركام. ومن خلالها يمكن معرفة وزن الركام لأي حجم يشغله .

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- اسطوانة قياس معدنية.
2- قضيب رص معدني ذو مقطع دائري (قطره 16 ملم وطوله 600 ملم) ومدور من احدى نهايتيه.
3- ميزان.

طريقة الاختبار:- Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية (B.S.812 part:2).
يثبت حجم اسطوانة القياس وذلك بتعيين وزن الماء الى اقرب ± 0.1 % اللازم لمليء الاسطوانة وحساب الحجم الفعلي لهذه الاسطوانة من قسمة وزن الماء (كغم) اللازم لملأها على كثافة الماء (1000 كغم/م^3).
يتم وزن الاسطوانة فارغة ثم ملأها بالحصى تدريجيا وبدون رص ويزال الزائد بواسطة القضيب وبعد ذلك يتم وزنها وهي مملوءة وتكرر هذه العملية ثلاث مرات وكما في المثال الافتراضي في الجدول رقم (1) الآتي :

رقم النموذج	وزن الاسطوانة فارغة (كغم)	وزن الاسطوانة مملوءة (كغم)	وزن الحصى (كغم)	حجم الاسطوانة (م^3)	الكثافة الظاهرية الكلية(كغم/م^3)
1	5,85	20,20	14,35	0,01	1435
2	5,85	20,03	14,18	0,01	1418
3	5,85	20,21	14.36	0,01	1436
				المعدل	1429,67

جدول رقم (1)

وبعد ذلك يتم حساب الكثافة الذي يمثل الفرق بين الوزنين للأسطوانة مقسوما على حجم الاسطوانة ويحسب المعدل للنماذج الثلاثة (1429.67 كغم/م^3) وهذا يمثل حجم الركام سائبا" (Loose).

ب- اختبار الكثافة الكلية المرصوصة Compacted Bulk Density Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test

تعيين الكثافة الكلية للركام المرصوص في الهواء(ويشمل المسامات الكتيمة والمنفذة) لغرض مقارنة خواص انواع مختلفة من الركام. . ومن خلالها يمكن معرفة وزن الركام لأي حجم يشغله .

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- اسطوانة قياس معدنية.
2- قضيب رص معدني ذو مقطع دائري (قطره 16 ملم وطوله 600 ملم) ومدور من احدى نهايتيه.
3- ميزان.

طريقة الاختبار:- Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية (B.S.812 part:2).

يثبت حجم اسطوانة القياس وذلك بتعيين وزن الماء الى اقرب ± 0.1 % اللازم لملىء الاسطوانة وحساب الحجم الفعلي لهذه الاسطوانة من قسمة وزن الماء (كغم) اللازم لملأها على كثافة الماء(1000 كغم/م3)..

يتم وزن اسطوانة القياس وهي فارغة ثم تملأ الاسطوانة الى ثلثها بالركام وذلك بصب العينة من ارتفاع لا يزيد عن 50 ملم فوق حافة الاسطوانة .

بعد ذلك يرص الركام بواسطة قضيب الرص المعدني (قضيب ذو مقطع دائري قطره 16 ملم وطوله 600 ملم مدور من إحدى نهايتيه) وذلك بدك الركام من النهاية المدورة للقضيب بعدد من الضربات المطلوبة وحسب ما مبين في الجدول رقم (3) موزعة بالتساوي على السطح . ويتم الرص بواسطة السماح للقضيب بالسقوط بحرية من ارتفاع 50 ملم من فوق سطح الركام.

تضاف كمية اخرى من الركام الى حد ثلثي الاسطوانة ويدك بنفس العدد من الضربات. ثم تملا الاسطوانة الى فوق حافتها بالركام ويدك مرة اخرى بنفس العدد من الضربات ويزال الركام الزائد بواسطة دحرجة قضيب الرص على طول وبملامسة حافة الاسطوانة. وتكرر هذه العملية ثلاث مرات وكما في المثال الافتراضي في الجدول رقم (2) .

رقم النموذج	وزن الاسطوانة فارغة(كغم)	وزن الاسطوانة مملوءة (كغم)	وزن الرمل (كغم)	حجم الاسطوانة($م^3$)	الكثافة الظاهرية الكلية(كغم/$م^3$)
1	5,85	21,59	15,74	0,01	1574
2	5,85	21,40	15,55	0,01	1555
3	5,85	21,31	15,46	0,01	1546
المعدل					1558,33

جدول رقم (2)

وبعد ذلك يتم حساب الكثافة الذي يمثل الفرق بين الوزنين للأسطوانة مقسوما على حجم الاسطوانة ويحسب المعدل للنماذج الثلاثة (1558,33 كغم/$م^3$) وهذا يمثل حجم الركام مرصوصا" (Compacted).

حجم الاسطوانة (م)	القطر الداخلي (ملم)	الارتفاع الداخلي (ملم)	الحد الادنى لسمك المعدن (ملم)	الكثافة الكلية المرصوصة		الكثافة الكلية الغير مرصوصة
				المقاس الاقصى للركام (ملم)	عدد الضربات للطبقة الواحدة	المقاس الاقصى للركام (ملم)
0.03	350	300	5.0	50	100	50
0.015	250	300	4.0	28	50	14
0.007	200	225	3.0	14	30	6
0.003	150	150	3.0	6	20	--

جدول رقم (3) عدد الضربات المطلوبة وحسب مقاس الركام حسب المواصفات القياسية البريطانية1975 : B.S 812 والعراقية رقم 31

يمكن حساب الكثافة الكلية من العلاقة أدناه:-

$$D = \frac{M}{V}$$

حيث D = الكثافة (كغم / م^3)
M = الكتلة (كغم)
V = الحجم (م^3)

ويمكن حساب النسبة المئوية للفجوات من العلاقة التالية:-

$$\text{نسبة الفجوات} = 100 * \left(1 - \frac{b}{1000 * a} \right)$$

حيث a = الوزن النوعي الظاهري للركام المجفف بالفرن (كغم / م^3).
b = الكثافة الكلية للركام المجفف بالفرن (كغم / م^3) مرصوص أو غير مرصوص.

تزداد الكثافة الكلية للركام عندما تقل النسبة المئوية للفجوات أي عندما يكون تدرج الركام أفضل.

3- اختبار الكثافة النسبية وامتصاص الماء Relative Density and Water Absorption Test

الكثافة النسبية هو نسبة وزن حجم معين من الركام (ويشمل ذلك المسامات الغير منفذة والمنفذة الموجودة في المادة) بالهواء وفي درجة حرارة معينة إلى وزن حجم مساو من الماء المقطر الخالي من الغازات في نفس الهواء وفي نفس درجة الحرارة.
الكثافة النسبية أو الكثافة النوعية للركام هي مؤشر على قوة و متانة الركام . فكلما ارتفعت قيمة الكثافة النسبية للركام كلما كان قوياً و اكثر تماسكاً و العكس صحيح فالركام ذو الكثافة النسبية المنخفضة يكون في العادة ركام مسامي و ذو امتصاص كبير للماء .
وهذا الفحص عبارة عن سلسلة من عمليات الوزن لعينة الركام في الهواء و تحت الماء و بعد التجفيف.

الغرض من الاختبار Purpose of Test

تحديد الكثافة النسبية وامتصاص الماء للركام الخشن.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- ميزان يسمح بتعليق سلة لغرض وزنها بالماء مع الركام.
2- وعاء مانع لنفاذ الماء .
3- سلة سلكية مقاس فتحاتها لا تزيد على 3 ملم.
4- قطعتي قماش جافة قابلة لامتصاص الماء.
5- منخل 5ملم.

طريقة الاختبار Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية (B.S.812 part:2).

للركام الخشن:-
1. وزن عينة الركام المراد اختبارها لا يقل عن(2 كغم) وتغسل جيدا على منخل 5 ملم.
2. توضع العينة في سلة معدنية على هيئة شبكة و تغمر في الماء لمدة 24 ساعة وبدرجة حرارة 20 ± 5 م على ان لا يقل ارتفاع الماء عن 5 سم فوق سطح الركام في السلة و يتم وزنها و هي مغمورة في الماء (B).
ويزال الهواء المحصور من النموذج برفع وخفض السلة 25 مرة وهي في الماء.
3- توزن السلة وهي فارغة داخل الماء (C).
4- تخرج العينة من الماء و يجفف سطح الركام بقطعة القماش ويفرش لغرض التجفيف بالجو لإزالة قطرات الماء المرئية على سطح الركام ويوزن الركام (A).
5- تجفف العينة في فرن درجة حرارته 100 –110م لمدة 24± 2/1 ساعة تم توزن (D) .

الحسابات:-
من خلال هذه القياسات يمكن حساب الكثافة النسبية للركام . ومن المعروف أن هناك عدة قيم للكثافة النسبية للركام يمكن حسابها بناء على الحالة التي اخذ فيها وزن الركام من حيث هو جاف تماماً أو جاف السطح أو مشبع.

$$\text{الكثافة النسبية على اساس ركام مجفف بالفرن} = \frac{D}{A-(B-C)}$$

$$\text{الكثافة النسبية على اساس ركام مشبع جاف السطح} = \frac{A}{A-(B-C)}$$

$$\text{الكثافة النسبية الظاهرية} = \frac{D}{D-(B-C)}$$

و يتم من خلال هذه التجربة أيضا تحديد نسبة امتصاص الركام للماء و ذلك بمعرفة كتلة الماء الممتص بواسطة حبيبات الركام و هو الفرق بين كتلة العينة و هي مشبعة و كتلتها و هي جافة، و يقسم هذا الفرق على الكتلة الجافة للعينة .

$$\text{امتصاص الماء (\% من الوزن الجاف)} = \frac{(A - D)}{D} \times 100$$

حيث:-

A = الوزن بالهواء للركام المشبع والجاف السطح (غم).
B = الوزن الظاهري في الماء للسلة الحاوية على نموذج من ركام مشبع (غم).
C = الوزن الظاهري في الماء للسلة وهي فارغة (غم).
D = الوزن في الهواء للركام المجفف بالفرن (غم).

ملاحظة: وزن السائل المزاح = وزن الجسم الحقيقي – وزن الجسم في الماء (قاعدة ارخميدس 2)

وفي العادة تتراوح الكثافة النوعية للركام الصخري المستعمل في أعمال الرصف بين 2.60 و 2.90 و توصى المواصفات بان لا تزيد نسبة امتصاص الماء له عن 0.6% .

مثال:- في المختبر تم اجراء فحص الكثافة النسبية للركام الخشن وسجلت النتائج التالية:
وزن العينة الجافة (D) = 3460 غم
وزن العينة مشبعة (A) = 3500 غم
وزن العينة في الماء (B – C) = 2172 غم
جد الكثافة النسبية بأنواعها الثلاثة مع امتصاص الماء.
الحل:-

-1

$$\text{الكثافة النسبية للركام مجفف بالفرن} = \frac{D}{A - (B - C)} = \frac{3460}{3500 - 2172} = 2.605$$

-2

$$\text{الكثافة النسبية للركام مشبع جاف السطح} = \frac{A}{A - (B - C)} = \frac{3500}{3500 - 2172} = 2.634$$

-3

$$\text{الكثافة النسبية الظاهرية} = \frac{D}{D - (B - C)} = \frac{3460}{3460 - 2172} = 2.686$$

-4

$$\text{امتصاص الماء (\% من الوزن الجاف)} = \frac{100 (A - D)}{D} = \frac{100(3500 - 3460)}{3460} = 1.2$$

4- اختبار مقاومة الصدم للركام Aggregate Impact Value Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test

يجرى هذا الاختبار للتعرف على مدى مقاومة الركام لقوة الصدم والتي تعبر عن الأحمال الديناميكية التي قد يتعرض لها الرصف بسبب مرور عجلات المركبات أو بسبب التوقف المفاجئ على سطح الطريق.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- اسطوانة معدنية قطرها الداخلي 102مم و عمقها 50مم.
2- مطرقة معدنية يتراوح وزنها بين(13.5- 14.0) كغم.
3- وعاء قياس أسطواني.
4- قضيب رص معدني (قطره 10 ملم وطوله 230 ملم مدور من احد نهايتيه).
5- مناخل قياسية (14 , 10 , 2.36) ملم.

طريقة الاختبار Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية (B.S.818:P3).

يستعمل في هذا الاختبار ركام يمر من منخل مقاس (14) ملم ويبقى على منخل مقاس (10) ملم.
1- ينخل النموذج على هذه المناخل قبل الفحص. ويشترط ان يكون النموذج المراد فحصه في حالة جافة السطح والا يجفف في فرن بدرجة (100-110) م لمدة لا تزيد عن (4) ساعات ويبرد بدرجة حرارة الغرفة قبل الفحص .
2- يجري الفحص بملأ اسطوانة قياس معدنية صلدة قطرها الداخلي (75) ملم وارتفاعها الداخلي (50) ملم بالنموذج بثلاث طبقات متساوية الارتفاع تقريبا حيث ترص كل طبقة بواسطة قضيب رص ذو مقطع دائري قطره (10) ملم وطوله (230) ملم مدور من احدى نهايتيه وذلك بالضرب (25) مرة عند نهايته المدورة من ارتفاع (50) ملم تقريبا فوق سطح الركام بحيث تكون الضربات موزعة بالتساوي على سطح النموذج ثم يزال الزائد عن الحافة بواسطة قضيب الرص.
3- يعين وزن النموذج في اسطوانة القياس وليكن (A) .
4- تنقل بعدها العينة إلى اسطوانة الاختبار(قطرها الداخلي102 ملم وارتفاعها 50ملم) و تملأ الأسطوانة بالركام مرة واحدة. يبدأ بعد ذلك الاختبار بتثبيت المطرقة القياسية على الارتفاع المحدد (380) ملم وتركها تسقط على سطح العينة بشكل حرّ . و يتم تكرار ذلك (15) مرة بمعدل سريع وثابت.
5- يتم إفراغ محتويات اسطوانة الاختبار وإمرار المادة من المنخل 2.36 ملم و يحدد الوزن المار وليكن(B) والوزن المتبقي وليكن (C).

ملاحظة:- واذا كانت الكتلة الكلية (B + C) اقل من الكتلة الاولية (A) بأكثر من (10) غم تهمل النتائج ويعاد الفحص.

وتحسب قيمة الصدم Impact Value للركام كما يلي:

$$\text{قيمة الصدم (\%)} = \frac{B}{A} * 100$$

A = وزن العينة ذات السطح الجاف (غم)
B = وزن العينة المارة من منخل مقاس 2.36 ملم بوحدات (غم)
يتم تصنيف الركام وفق الجدول الآتي:-

نوعية الركام	قيمة الصدم %
عالي القوة	اقل او تساوي 10
قوي	10 – 20
جيد	20 – 30
ضعيف	30 – 45

جدول رقم (4) تصنيف الركام حسب قيمة الصدم

ملاحظة:-يسمح باستخدام الركام الذي لا تزيد قيمة الصدم له عن 30% في الطبقات السطحية للرصف أما الركام الضعيف فيمكن استخدامه في الطبقات التحتية فقط و بشرط ألا تزيد قيمة الصدم عن 45%.

5- اختبار مقاومة السحق للركام Aggregates Crushing Value Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test

يجرى هذا الاختبار للتعرف على مدى مقاومة الركام لقوة السحق تحت تأثير حمل الانضغاط مسلط عليه بصورة تدريجية.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- اسطوانة فولاذية مفتوحة الطرفين.
2- قضيب رص معدني مدور المقطع ومدور من احدى نهايتيه.
3- مناخل قياس (14 , 10 , 2.36) ملم.
4- جهاز فحص الانضغاط .
5- اسطوانة قياس معدنية.
6- ميزان.

طريقة الاختبار Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية (B.S.818:P3).

يستعمل في هذا الاختبار ركام يمر من منخل مقاس (14) ملم ويبقى على منخل مقاس (10) ملم.
1- ينخل النموذج على هذه المناخل قبل الفحص. ويشترط ان يكون النموذج المراد فحصه في حالة جافة السطح والا يجفف في فرن بدرجة (100-110) م لمدة لا تزيد عن (4) ساعات ويبرد بدرجة حرارة الغرفة قبل الفحص .
2- يجري الفحص بملأ اسطوانة قياس معدنية صلدة قطرها الداخلي (115) ملم وارتفاعها الداخلي (180) ملم بالنموذج بثلاث طبقات متساوية الارتفاع تقريبا حيث ترص كل طبقة بواسطة قضيب رص ذو مقطع دائري قطره (16) ملم وطوله بين(450 –600) ملم مدور من احدى نهايتيه وذلك بالضرب (25) مرة عند نهايته المدورة من ارتفاع (50) ملم تقريبا فوق سطح الركام بحيث تكون الضربات موزعة بالتساوي على سطح النموذج ثم يزال الزائد عن الحافة بواسطة قضيب الرص.
3- يعين وزن النموذج في اسطوانة القياس وليكن (A) .
4- توضع اسطوانة الفحص المفتوحة الطرفين(قطرها الداخلي 150 ملم) على صفيحة القاعدة وتملا بنفس النموذج بثلاث طبقات ايضا حيث ترص كل طبقة بالضرب (25) مرة كما ذكر اعلاه ثم يسوى سطح النموذج ويدخل الكابس بحيث يرقد بشكل افقي على سطح النموذج ثم يوضع الجهاز بين لوحي ماكنة الانضغاط .

5- ويسلط الحمل بمعدل منتظم بحيث يصل حمل الانضغاط (400) كيلو نيوتن خلال (10) دقائق وبعدها يرفع الحمل عن الاسطوانة ثم ينخل النموذج على منخل مقاس (2.36) ملم.
6- يوزن الجزء المار من المنخل مقاس (2.36) ملم وليكن (B) وبذلك يمكن حساب قيمة مقاومة السحق للركام (تقرب النتيجة الى اقرب عدد صحيح) من العلاقة التالية :

$$\text{قيمة السحق}(\%) = \frac{B}{A} * 100$$

A = وزن العينة ذات السطح الجاف (غم)
B = وزن العينة المارة من منخل مقاس 2.36 ملم بوحدات (غم)

ملاحظة:- اذا كانت قيمة السحق اكبر من 30% فان الركام يعتبر ضعيف.

6- تجربة التآكل (لوس انجلس) Abrasion Test

يتعرض الركام المستخدم في طبقات الرصف السطحية لعمليات البري و التآكل المستمر بسبب احتكاكه المباشر مع عجلات المركبات المارة على سطح الطريق و بسبب عوامل التعرية الجوية مثل مياه الأمطار وهبوب الرياح المحملة بالرمل ... الخ. لذلك فإن الركام المستخدم في الطبقة السطحية يجب أن يكون مقاوماً للبرى و التآكل ، أي أن يكون ذا صلادة عالية.

الغرض من الاختبار Purpose of Test
حساب نسبة التآكل للمواد الحصوية باستخدام جهاز لوس انجلس لمعرفة مقاومة الركام المستخدم في الطبقة السطحية وطبقات الأساس للتآكل والبري بسبب العوامل المختلفة مثل الاحتكاك المباشر لعجلات السيارات وعوامل التعرية مثل هبوب الرياح المحملة بالرمل ....وغيرها . وبها يمكن معرفة نوع المواد المستخدمة وامكانية استخدامها في الاعمال الاسفلتية أو الاعمال الخرسانية والاعمال الترابية.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device
1. جهاز لوس انجلس شكل رقم (1) .
2. كرات من الحديد (عدد 12) وزن الواحدة يتراوح بين (390 – 445) غم. وقطر الكرة (4.8) سم.
3. مجموعة من الغرابيل (37.5 , 25 , 19.5 , 12.5 , 9.5) ملم . وغربال (1.7) ملم.
4. ميزان حساس.

شكل (3) جهاز فحص التآكل للركام (جهاز لوس انجلس)

- **طريقة الاختبار:- Test Method**

اعتمدت في هذه الاختبار المواصفة القياسية ASTM – C-131
ملاحظة :- في هذه المواصفة يجب ان يمر الركام من منخل 37.5 ملم ويحتجز على منخل 5 ملم اما اذا كان الركام اكبر من 37.5 ملم فيجري الاختبار على المواصفة ASTM – C-535 والفرق في المواصفتين هو عدد دورات الجهاز.

ASTM – C-131	ASTM – C-535
الركام يمر من منخل 37.5 ملم	الركام محجوز على منخل 37.5 ملم فما فوق
عدد دورات الجهاز 500 دورة	عدد دورات الجهاز 1000 دورة

1. خذ عينة من الركام (10 كغم مثلا) وتغسل جيدا بعدها تجفف العينة حتى الوصول الى وزن ثابت.
2- تنخل العينة على مجموعة من الغرابيل (37.5 , 25 , 19.5 , 12.5 , 9.5) ملم . وبعدها يؤخذ وزن (5 كغم) من الجزء المتبقي على هذه المناخل وحسب حجم الغرابيل ونوع الفحص الموجود في الجدول رقم (1) ادناه أي اختيار النوع حسب التدرج للركام (A,B,C,D,E,F,G) فمثلا اذا كان لدينا المتبقي على المناخل (25 , 19.5 , 12.5 , 9.5) فنختار النوع (A) وبكمية 1.25 كغم من المتبقي على كل منخل.
3- ضع العينة والكرات الحديدية داخل الاسطوانة ثم شغل الجهاز ليدور (500) دورة.(30-33) دورة بالدقيقة
4- اخرج العينة من الاسطوانة بحرص بحيث لا يفقد أي جزء من الركام.
5- تغسل العينة على منخل (1.7) ملم لضمان مرور الركام المسحوق من فتحة المنخل .
6- تجفف العينة جيدا ويحسب وزنها ويطرح من الوزن الكلي للعينة (5 كغم) لاستخراج الوزن المار من المنخل.

- **الحسابات والنتائج :-**

نسبة التآكل هي الوزن المار من المنخل (1.7) ملم مقسوما" على الوزن الكلى مضروبا" في 100

النسبة المئوية للتآكل = وزن الركام المار من المنخل (1.7) ملم / الوزن الكلي للركام * 100

Grading and Weight of Sample (mm)								
G	F	E	D	C	B	A		
8	12	11	6	8	11	12	عدد الكرات	
							Retain	Passing
		2500 ± 10					63	75
		2500 ± 10					50	63
	5000 ± 10	2500 ± 10					37.5	50
5000 ± 10	5000 ± 10					1250 ± 10	25	37.5
5000 ± 10						1250 ± 10	20	25
					2500 ± 10	1250 ± 10	12.5	20
					2500 ± 10	1250 ± 10	10	12.5
				2500 ± 10			6	10
				2500 ± 10			5	6
			2500 ± 10				2.36	5

جدول رقم (1)

- **الخلاصة :-**

تحسب النسبة المئوية للتآكل ومن ثم يحدد ملائمة الركام لأي نوع من العمليات الانشائية وكلما كانت النسبة قليلة كلما كان الركام جيد والعكس صحيح.
وعادة تحدد المواصفات قيمة البري المسموح بها للركام على النحو التالي: الطبقة السطحية ≤ 30% طبقة الأساس و الأساس المساعد ≤ 50%.

مثال:-
اذا كان وزن العينة الاصلية =5000غم ووزن العينة المتبقية على منخل (1,7) ملم (مثلا) =4250غم فان:-

نسبة التآكل =5000-4250\5000 *100= 15%

ثبات الركام Soundness of Aggregate

*وهو قابلية الركام على مقاومة التغيرات الحجمية الناتجة عن تغيير الظروف الفيزيائية كتعرض الركام إلى دورات من الترطيب والجفاف أو الانجماد والذوبان أو التسخين والتبريد .
* يوصف الركام بعدم الثبات إذا سببت التغيرات الحجمية الناتجة عن التغيرات أعلاه بتشقق الخرسانة.
* يختلف عدم الثبات أعلاه عن عدم الثبات الناتج من التمدد نتيجة للتفاعلات الكيمياوية بين الركام وبين القلويات في الاسمنت.

اختبار الثبات Soundness Test

اختبار الثبات هو مقياس لخاصية المتانة والديمومة للركام، وذلك لمعرفة مدى تأثره بتغير الظروف المناخية. ويجرى هذا الاختبار وفق الخطوات التالية:-
1- إعداد عينة الركام وغسلها و تجفيفها و تحديد التدرج الحبيبي لها
2- غمر العينة في محلول كبريتات الصوديوم أو كبريتات المنغنيسوم لمدة تتراوح بين 16 و 18 ساعة.
3- تجفيف العينة في فرن درجة حرارته 105 –110م.

4- تكرار عمليات الغمر و التجفيف (الخطوتين 2 ، 3) عدة مرات وذلك اعتماداً على طبيعة الظروف المناخية بالمنطقة و أيضا على نوع المحلول المستخدم في عملية الغمر. و في العادة يتراوح عدد هذه الدورات ما بين 5 و 10 دورات.
5- يتم فحص عينة الركام بالنظر و باستخدام المجهر و ذلك للتعرف على أية شقوق أو تفتت يكون قد حدث لجزيئات الركام.
6. إجراء عملية التحليل المنخلي لعينة الركام بعد الاختبار و تحديد التدرج الحبيبي لها و مقارنته بالتدرج الأصلي.
7. وزن العينة بعد الاختبار و تحديد الفقدان في الوزن . و يعبر عن نتيجة اختبار المتانة بتحديد نسبة الفقدان في الوزن.

7- التحليل المنخلي Sieve Analysis

هو فصل المقاسات المختلفة من الركام بعضها عن بعض فى أية كمية من الركام ويكون ذلك باستخدام التحليل بالمناخل بهز الركام على مجموعة من المناخل مرتبة حسب مقاس فتحتها وموضوعة فوق بعضها البعض بحيث يكون أكبرها مقاساً من أعلى وأصغرها مقاساً من أسفل ثم وزن المحجوز على كل منخل). المنخل يعرف بمقاس فتحته أى طول ضلع الفتحة.
يتم حساب النسبة المئوية للركام المار من كل منخل وترسم بيانياً العلاقة بين مقاس فتحة المنخل والنسبة المئوية للركام المار منه ليعبر هذا الرسم عن مدى التوزيع الحجمى للركام .

الغاية من إجراء التحليل المنخلي Purpose

1- تحديد التدرج الحبيبى للركام للتأكد من مدى مطابقة تدرج الركام لحدود المواصفات.وذلك لاستخدامه فى الخلطات الخرسانية.
2- ايجاد معاير النعومة للركام .
3- ايجاد المقاس الاقصى للركام.

ملاحظة:- يستعمل في هذا الفحص ركام مجفف بالهواء لتجنب تكتل الحبيبات ولمنع انسداد فتحات مناخل الفحص الناعمة وخاصة عند استعمال الركام الناعم .

المناخل القياسية Standard sieves

تختلف فتحات المناخل القياسية فى الدول المختلفة تبعاً لمواصفاتها القياسية ولكن معظمها تسير على أساس أن مقاس فتحة المنخل تتضاعف من منخل إلى المنخل الذي يليه. وفيما يلى مقاسات فتحات المناخل القياسية طبقا للمواصفات القياسية العراقية للركام بنوعيه الخشن والناعم.

الركام الخشن مم
75
63
37.5
20
14
10
5
2.36

الركام الناعم مم
10
5.0
2.36
1.18
0.6
0.3
0.15
اقل من 0.15

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

مجموعة مناخل (تتألف المناخل المستعملة للركام من متسلسلة يكون مقاس الفتحة الصافي لأي منخل فيها مساوي تقريبا" إلى نصف مقاس الفتحة للمنخل التالي الأكبر.

طريقة الاختبار:- Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية (B.S.812:1975).

1- تؤخذ عينة من النموذج بطريقة التقسيم الربعي أو النصفي وتوزن هذه العينة وبعدها توضع على المنخل الأكبر ثم تجري عملية النخل باليد ويرج كل منخل على انفراد فوق قاعدته ويحرك إلى الأمام والخلف ومن اليسار إلى اليمين ودائريا" باتجاه وعكس عقرب الساعة مع الضرب باليد على الجانب ويستمر في عملية النخل إلى أن يصبح الجزء المار من المنخل خلال فترة دقيقتين ضئيلا" جدا".

2- نسجل الوزن المحجوز على كل منخل (عمود رقم 2) .

3- نسجل الوزن المحجوز المجمع على كل منخل للنموذج (عمود رقم 3).

4- نستخرج النسبة المئوية للوزن المحجوز المجمع مقربة إلى اقرب عدد صحيح لكل منخل وذلك بقسمة الوزن المحجوز المجمع على كل منخل على الوزن الكلي للنموذج مضروبا في 100(عمود رقم 4).

5- نستخرج النسبة المئوية لوزن المار المجمع مقربة إلى اقرب 1% لكل منخل (عمود رقم 5) وقيم هذا العمود تستعمل في رسم منحنيات التدرج.

6- نحسب معامل النعومة من مجموع النسب المئوية للوزن المحجوز المجمع على تسلسل المناخل 5.00 مم , 2.36مم , 1.18مم , 600 مايكرون , 300 مايكرون , 150 مايكرون. (عمود رقم 4). مقسوما "على 100.

ويدل معامل النعومة على متوسط مقاس الركام ويحسب ابتداء" من المنخل الأنعم وعلى سبيل المثال إذا كان معامل النعومة = 4 فهذا يعني أن مقاس المنخل الرابع 1.18مم يمثل المقاس المتوسط للركام ويزداد بزيادة خشونة الركام.
لا يمكن استعمال معامل النعومة لوصف تدرج الركام لان القيمة المتوسطة لا يمكن أن تمثل توزيع مقاسات الركام , وكذلك فان عدد غير محدود من منحنيات التدرج المختلفة لها نفس معامل النعومة.

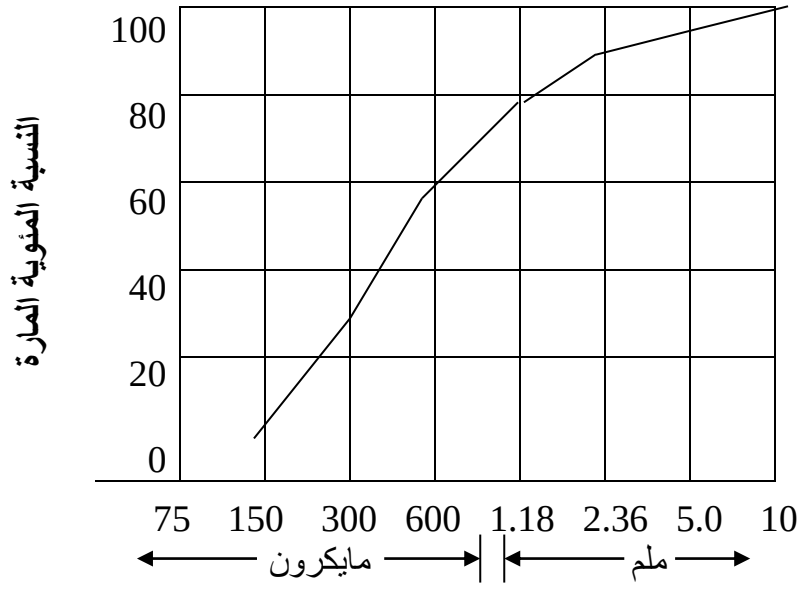
مقاس المنخل		الوزن المحجوز على كل منخل (غم) (2)	الوزن المحجوز المجمع على كل منخل (غم) (3)	النسبة المئوية للوزن المحجوز المجمع على كل منخل (4)	النسبة المئوية للوزن المار المجمع من كل منخل (5)
بريطاني	أمريكي				
(1)					
10.0مم	3/8 انج	0	0	0	100
5.00مم	4	6	6	2	98
2.36مم	8	31	37	12	88
1.18مم	16	30	67	22	78
600مايكرون	30	59	126	41	59
300مايكرون	50	107	233	76	24
150مايكرون	100	53	286	93	7
<150 مايكرون	<100	21	307	-	-
الوزن الكلي للنموذج (غم)		307	المجموع	246 ↑	

جدول رقم 1 نموذج للتحليل المنخلي

شكل (4) نماذج مختلفة من المناخل القياسية

منحنيات التدرج Grading Curves

إن النتائج المستخرجة من إجراء التحليل المنخلي يمكن أن تمثل بشكل بياني يوضح العلاقة بين مقاس فتحة المنخل والنسبة المئوية المجمعة المارة. والشكل(رقم 1) يمثل نتائج التحليل في الجدول رقم (1) السابق.



شكل (رقم 1) مقاس المنخل حسب النظام البريطاني

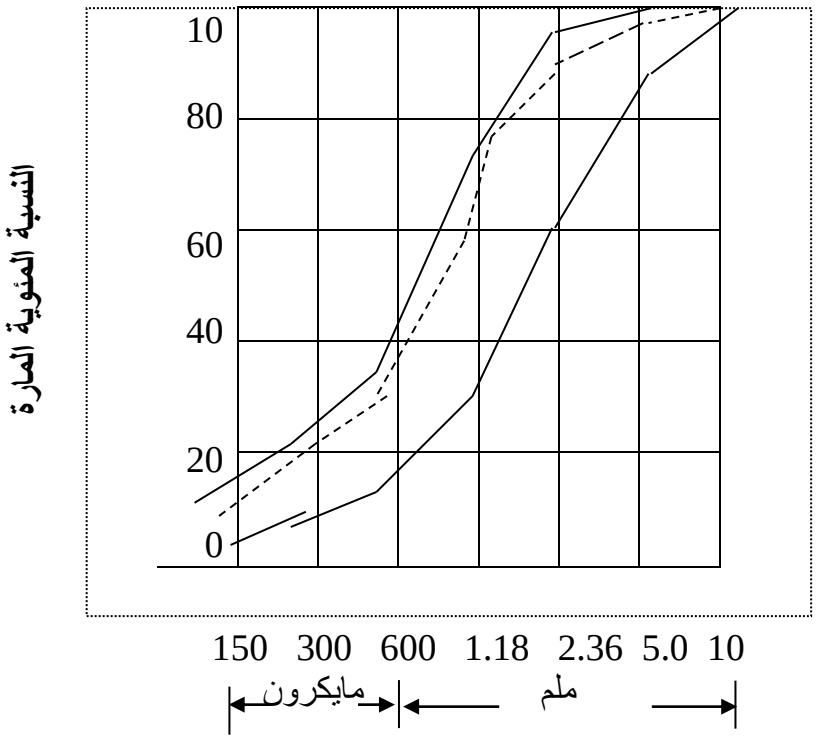
تدرج الركام الناعم والخشن

حددت المواصفات القياسية العراقية (م.ق.ع) رقم (45) لسنة 1984متطلبات تدرج الركام الناعم إذ تصنفه إلى أربع مناطق (1 - 2 -3 - 4) كما مبين في الجدول رقم (2) أدناه وان أي ركام ناعم يقع تدرجه كليا" ضمن حدود أي من هذه المناطق الأربع يعتبر مناسبا". وان لا يزيد مجموع الاختلاف المسموح به على 5٪ ويشمل هذا الاختلاف النسب المرسوم تحتها خطوط فقط ويمكن تقسيم هذا الاختلاف على عدد من هذه المناخل.

إن تقسيم تدرج الركام الناعم إلى مناطق أربعة يستند على النسبة المئوية المارة من منخل مقاس 600 مايكرون والسبب الرئيسي لهذا هو أن كمية كبيرة من الرمال تقسم نفسها طبيعيا" في هذا المقاس تماما" والتدرج الذي يكون فوق أو تحت هذا المقاس يكون منتظما" تقريبا".

رقم المنخل م.ق.ع 23	النسبة المئوية للمواد المارة من المناخل			
	منطقة تدرج رقم1	منطقة تدرج رقم 2	منطقة تدرج رقم 3	منطقة تدرج رقم 4
10 مم	100	100	100	100
4.75 مم	100-90	100-90	100-90	100-95
2.36 مم	95-60	100-75	100-85	100 -95
1.18مم	70-30	90-55	100-75	100-90
600مايكرون	34-15	59-35	79-60	100-80
300مايكرون	20-5	30-8	40-12	50-15
150مايكرون	صفر-10	صفر-10	صفر-10	صفر-15

جدول رقم (2) متطلبات التدرج للركام الناعم طبقا م.ق.ع رقم (45) لسنة 1984



مقاس المنخل حسب المواصفة العراقية

شكل حدود التدرج للرمل في المنطقة (1) طبقا" للمواصفات القياسية العراقية

اما متطلبات تدرج الركام الخشن فتحدده المواصفات العراقية م.ق.ع رقم (45) لسنة 1984وكما ومبين في الجدول رقم (3) .

مقاس المنخل م.ق.ع 23	النسبة المئوية للمواد المارة من المناخل							
	المقاس الاسمي للركام المدرج			المقاس الاسمي للركام ذا مقاس واحد(مم)				
	40-5مم	20-5مم	14-5مم	63مم	40مم	20مم	14مم	10مم
75 مم	100	-	-	100	-	-	-	-
63 مم	-	-	-	100-85	100	-	-	-
37.5 مم	100-95	100	-	صفر-30	100-85	100	-	-
20 مم	70-35	100-95	100	صفر-5	صفر-25	100-85	100	-
14 مم	-	-	100-90	-	-	-	100-85	100
10 مم	40-10	60-30	85-50	-	صفر-5	صفر-25	صفر-25	100-85
5 مم	صفر-5	صفر-10	صفر-10	-	-	صفر-5	صفر-10	صفر-25
2.36مم	-	-	-	-	-	-	-	صفر-5

جدول رقم (3) متطلبات التدرج للركام الخشن طبقا م.ق.ع رقم (45) لسنة 1984

<u>مثال تطبيقي على التحليل المنخلي للركام</u>

1-عينة من الركام الخشن وزنها = 20 كغم

مقاس المنخل (مم)	الوزن المحجوز على كل منخل (غم)	الوزن المحجوز المجمع على كل منخل (غم)	النسبة المئوية للوزن المحجوز المجمع على كل منخل	النسبة المئوية للوزن المار المجمع من كل منخل
37.5	960	960	4.8	95.2
20	10100	11060	55.3	44.7
14	6000	17060	85.3	14.7
10	2500	19560	97.8	2.2
5.0	440	20000	100	0

2- عينة من الركام الناعم وزنها = 1 كغم

مقاس المنخل (مم)	الوزن المحجوز على كل منخل (غم)	الوزن المحجوز المجمع على كل منخل (غم)	النسبة المئوية للوزن المحجوز المجمع على كل منخل	النسبة المئوية للوزن المار المجمع من كل منخل
4.75	20	20	2	98
2.36	130	150	15	85
1.18	100	250	25	75
0.6	260	510	51	49
0.3	370	880	88	12
0.15	110	990	99	1
اقل من 0.15	10	1000	100	0

الفصل الرابع

الخرسانة الطرية
Fresh Concrete

الخرسانة الطرية Fresh Concrete

خواص واختبارات الخرسانة الطرية **Properties and Test of Fresh Concrete**

عند إضافة الماء إلى الخرسانة فإنها تمر بمراحل ثلاثة خلال العمر الافتراضي لها:-

1- الخرسانة الطرية Fresh Concrete

وهي الخرسانة التي تبدأ من لحظة إضافة الماء إلى مكونات الخرسانة الجافة وحتى لحظة حصول زمن التجمد الابتدائي وهذه المرحلة تمتاز بالقدرة على الخلط والنقل والصب للخرسانة.

2- الخرسانة الخضراء Green Concrete

وهي الخرسانة المتكونة في الفترة من بداية التجمد الابتدائي للإسمنت وحتى بداية تصلب الخرسانة أي في حدود 24ساعة. وفي هذه المرحلة لا نتمكن من خلط ونقل وصب الخرسانة لأنها تكون قد تجمدت كما وأنها لا تقوى على حمل أي نوع من الاجهادات.

3- الخرسانة الصلبة Hardened Concrete

وهي الخرسانة التي تبدأ من مرحلة التصلب (أي بعد 24 ساعة) وحتى نهاية العمر الافتراضي للخرسانة وتمتاز هذه المرحلة بزيادة مقاومة الضغط وقدرة الخرسانة على مقاومة الأحمال بمرور الزمن.

كيفية تحضير عينة من الخرسانة الطرية للاختبار:-

*- يجب أن تكون العينة المأخوذة من الخرسانة تمثل تماما" الخلطة الخرسانية وتؤخذ من أماكن متفرقة من الخلطة.
*- تنقل العينة إلى مكان الاختبار وتخلط خلطا" تاما" على سطح غير منفذ للماء .
*- يجب الحفاظ على العينة من التأثيرات الجوية كالشمس والرياح والأمطار والأتربة .
*- تسجل البيانات التالية :-
*- وقت وتاريخ اخذ العينة.
*- الطريقة المستخدمة في خلط الخرسانة.
*- نسب مكونات المواد المكونة لخلطة الخرسانة.
*- درجة الحرارة والظروف الجوية.

الخواص الرئيسية للخرسانة الطرية

للخرسانة الطرية أربعة خواص رئيسية هي :-
1- قوام الخلطة الخرسانية Consistency
2- قابلية التشغيل Workability
3- الانفصال الحبيبي Segregation
4- النضح Bleeding

أ- اختبار الهبوط Slump Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test

لتحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص في المختبر أو في موقع العمل للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية. وهو من ابسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة للخرسانة.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- قالب الاختبار :-
عبارة عن مخروط ناقص ومصنوع من معدن سميك (1.5 mm) ومفتوح من الأعلى والأسفل , قطر فتحته العليا (10cm) والسفلى (20cm) وارتفاعه (30cm). كما في الشكل رقم (1).
2- قضيب الرص وهو قضيب من الحديد بقطر (15mm) وطول (60cm).
3- وعاء خلط معدني.

شكل رقم (1) قالب اختبار الهبوط وقضيب الرص

طريقة الاختبار:- Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية B.S. 1881. Part 2:1970

1- ينظف السطح الداخلي للقالب بصورة جيدة.
2- يوضع القالب على سطح أملس وغير مسامي .
3- يملا القالب على ثلاث طبقات ارتفاع كل طبقة ثلث ارتفاع القالب تقريبا" وتدك كل طبقة بواسطة قضيب الرص (25) مرة وموزعة على السطح وبشرط أن ينفذ القضيب إلى الطبقة التي تحتها.
4- بعد انتهاء عملية الرص للطبقات الثلاثة يسوى سطح القالب .
5- يرفع القالب بعد ملئه مباشرة وفي اتجاه راسي وببطء وعناية وكما في الشكل رقم (2).
6- يقاس مقدار الهبوط (Slump) بعد رفع القالب مباشرة وهو الفرق بين ارتفاع القالب وارتفاع مركز عينة الخرسانة الطرية وكما في الشكل رقم (3).
يتم وصف القوام إما جاف أو صلب أو لدن أو مبتل أو رخو وذلك حسب قيمة الهبوط وكما في الجدول رقم (1).

الهبوط (mm)	20-0	40-10	120-30	200-100	220-180
قوام الخلطة الخرسانية (Consistency)	جاف Dry	صلب Stiff	لدن Plastic	مبتل Wet	رخو Sloppy

جدول رقم (1) قيم الهبوط المناظرة لدرجات قوام الخرسانة المختلفة.

شكل رقم (2) رفع القالب بعد ملئه مباشرة

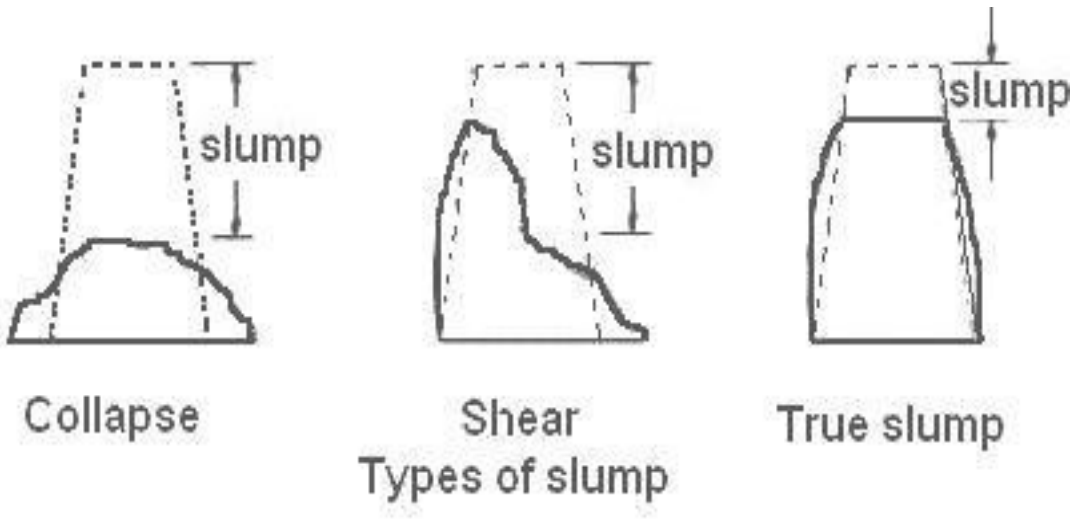
شكل رقم (3) قياس الهبوط لتحديد قوام الخرسانة الطرية

ملاحظات:-

*- يجب أن لا يزيد المقاس الأعلى للركام المستخدم عن 40 ملم.

*- يجب أن لا تزيد الفترة بين انتهاء الخلط وبداية إجراء الاختبار عن دقيقتين.

*- تحدث ثلاثة أشكال مختلفة لحالة الهبوط فقد يكون هبوطا" حقيقيا" (True Slump) أو هبوط قص (Shear Slump) أو انهيار(Collapse) كما في الشكل رقم (4).



انهيار **هطول قص** **هطول حقيقي**

شكل رقم (4) يوضح أنواع الهطول

مثال:-
في المختبر تم اجراء اختبار الهبوط لخلطة خرسانية بنسب 1:2:4 ونسبة ماء الى اسمنت تساوي 0.5 . المطلوب ايجاد كميات المواد اللازمة لإجراء هذا الفحص .
الحل:

$$\text{حجم المخروط} = 3\backslash \pi\ h\ (R^2 + Rr + r^2)$$
$$= 3 \backslash \pi\ 30\ (10^2 + 10*5 + 5^2) = 5495 \text{ سم}^3$$
$$= 5495 * 10^6 = 0.005495 \text{ م}^3$$

الكثافة = الكتلة \ الحجم
كثافة الكونكريت = 2400 كغم/م^3
اذن الكتلة = 2400 * 0.005495 = 13.188 كغم وزن الخلطة الكونكريتية للمخروط
تضاف ضائعات بمقدار 10 % للخلطة
13.188 * 10 \ 100 = 1.3188 كغم
اذن وزن الخلطة اللازمة = 13.188 + 1.3188 = 14.5 ≈ 15 كغم
مجموع نسب الخلط = 1+ 2 + 4 = 7
وزن الاسمنت = 1 \ 7 * 15 = 2.14 كغم
وزن الرمل = 2 \ 7 * 15 = 4.28 كغم
وزن الحصى = 4 \ 7 * 15 = 8.56 كغم
w/c = 0.5
وزن الماء = 0.5 * 2.14 = 1.07 كغم

ب- اختبار الانسياب Flow Test

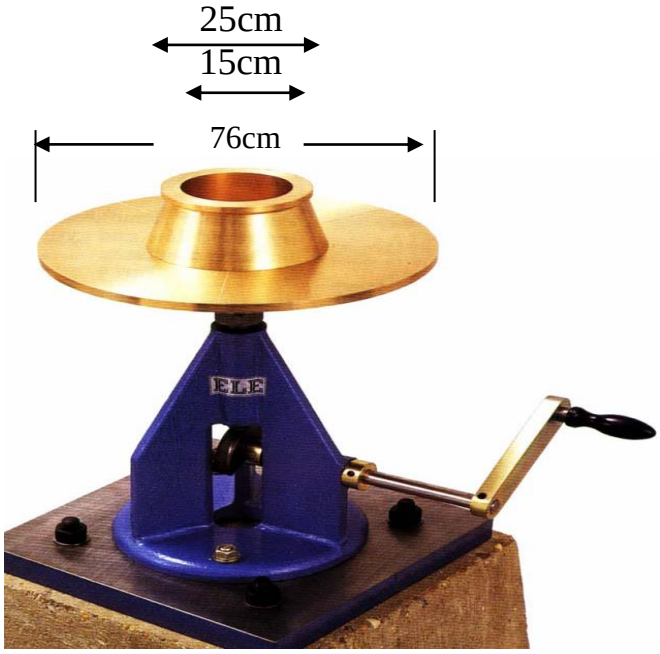
الغرض من الاختبار Purpose of Test

التعرف على قوام الخرسانة ومدى ميلها للانعزال وذلك بتعيين النسبة المئوية لانسياب الخرسانة والتي تُعبر عن حالة القوام وذلك بإجراء إهتزاز ترددي لمخروط ناقص من الخرسانة موضوع على لوح معدني وتسجيل مدى إنتشار أو انسياب الخرسانة كنسبة مئوية من القطر الأصلي لقاعدة المخروط.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- جهاز فحص الانسياب والذي يتكون من قرص الإنسياب Flow Table قطره (76cm) ويثبت القرص على قاعدة جاسئة بإرتفاع من(40-50) سم بوزن (15) كغم على الاقل.

2- قالب اختبار الانسياب وهو عبارة عن قالب معدني على شكل مخروط ناقص ويكون هذا القالب مفتوحاً من أعلى(15cm) ومن أسفل(25cm) بمستويين عموديين على محور المخروط كما في الشكل رقم (5).
3- قضيب رص معدني ذو نهايه مدورة قطره (1.6) سم وطوله (60) سم.
4- وعاء خلط معدني.



شكل رقم (5) جهاز الانسياب لتحديد القوام

طريقة الاختبار:- Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة الامريكية (ASTM – C124-77)

1- نقوم بعمل خلطة خرسانية وبنسب معينة مثل 4:2:1 ونسبة ماء الى الاسمنت معينة مثل (0.5) .

2- ينظف القرص جيداً بالماء ثم يجفف بعناية حيث لا يبقى به أثر لماء التنظيف.
3- يوضع القالب مثبتاً في وسط القرص وذلك بالضغط على مقبضيه باليد.
4- يملا القالب على طبقتين ارتفاع كل منهما يساوي نصف الارتفاع تقريبا" على أن ترص كل طبقة بواسطة قضيب الرص القياسي 25 مرة موزعة تقريبا" بالتساوي على سطح المقطع للقالب بحيث ينفذ القضيب إلى الطبقة التي تليها.
5- بعد الانتهاء من رص الخرسانة للطبقة العليا للقالب يسوى سطحها مع حافة القالب مع مراعاة ملء القالب تماما.
6- تُزال الخرسانة الزائدة التي سقطت على قرص الإختبار عند تسوية السطح ثم ينظف جيداً حول قالب الإختبار.
7- يُرفع القالب المعدني بعد ملئه مباشرة من الخرسانة بإنتظام في إتجاه رأسي.
8- يُرفع القرص ويخفض بمعدل منتظم لمسافة ١٢,٥ مم وذلك ١٥ مرة في مدى حوالي 15 ثانية.
تقاس قاعدة الخرسانة المنسابة نتيجة الرفع والخفض المذكورة ويكون القياس لقطر القاعدة في ٦ إتجاهات مختلفة ثم يؤخذ متوسط هذه القراءات ليمثل قطر الإنسياب لقاعدة المخروط الخرساني بعد إنسياب الخرسانة.
تحسب النسبة المئوية لإنسياب الخرسانة (لأقرب ٥ مم) بإعتبارها النسبة المئوية لزيادة قطر الإنسياب عن قطر القاعدة الأصلي كما يلي:

$$\text{النسبة المئوية للإنسياب} = \frac{\text{قطر الإنسياب (سم)} - 25}{25} * 100$$

(حيث قطر القاعدة الأصلي للمخروط الخرساني يساوي 25 سم)

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

النسبة المئوية للانسياب	% 20-0	% 60-15	% 100-50	% 120-90	%150-110
قوام الخلطة الخرسانية (Consistency)	جاف Dry	صلب Stiff	لدن Plastic	مبتل Wet	رخو Sloppy

جدول رقم (2) يوضح العلاقة بين قوام الخرسانة والانسياب

ج- اختبار كرة الاختراق (كيلي) Kelly Ball Penetration Test

وهذه الطريقة يحدد بها قوام الخرسانة بيسر ودقة كافيين وهو إختبار مشابه وكبديل لفحص الهبوط إلا أنه أسهل وأسرع منه .ويتكون الجهاز أساساً من ثقل على شكل نصف كرة نصف قطرها ١٥ سم ووزنها ١٣,٦ كغم يتصل بها يد عليها مقياس مدرج والكل ينزلق من فتحة داخل إطار كما في شكل رقم (6). ويمكن وضع هذا الإطار على سطح الخرسانة المراد قياس قوامها كما أن هذا الإطار - يصلح في نفس الوقت لإستخدامه كمستوى ثابت للمقارنة وقت الإختبار ويلاحظ أن جميع أجزاء الجهاز تصنع من الصلب أو أي معدن مشابه.
يمكن وضع الخرسانة في وعاء أو يمكن إجراء الإختبار والخرسانة في مكانها على القالب بعد صبها مباشرة او داخل عربة النقل للخرسانة ، 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 مم .يؤخذ متوسط عدة قراءات في أماكن متفرقة .وتفيد هذه الطريقة في بيان ومقارنة قوام الخرسانة عند صبها مباشرة.

شكل رقم (6) جهاز كرة كيلي لقياس القوام

2- قابلية للتشغيل Workability

قابلية للتشغيل هي خاصية الخرسانة الطازجة التي تبين السهولة التي يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية كما تبين درجة تجانسها ومقاومتها للإنفصال الحبيبي.

طرق تعيين قابلية الخرسانة للتشغيل.

أ- اختبار عامل الرص Compacting Factor Test

الغرض من الاختبار Purpose of Test
يجرى هذا الإختبار لتحديد درجة قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة وهذا الإختبار مبنى عل أساس أن الجهد اللازم لرص الخرسانة يعبر عن مدى القابلية للتشغيل .ويبين الشكل رقم (7) الجهاز المستخدم في هذا الإختبار.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device
1- جهاز عامل الرص (شكل رقم 7).

طريقة الاختبار:- Test Method

اعتمدت في هذا الاختبار المواصفة البريطانية B.S. 1881. Part 2:1970

1- توضع الخلطة الخرسانية في المخروط العلوي بواسطة المجرفة ويسوى سطحها مع حافة المخروط.
2- يفتح الباب الموجود في أسفل المخروط العلوي بحيث يسمح بهبوط الخرسانة تحت تأثير وزنها فقط إلى المخروط السفلي.
3- تكرر نفس الخطوات بالنسبة للمخروط السفلى فتمر الخرسانة إلى الإسطوانة.
4- بعد الإنتهاء من ملء الإسطوانة يسوى سطحها وتنظف جوانبها وحوافها الخارجية ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المرصوصة جزئياً = و.
5- يعاد ملء الإسطوانة من نفس الخلطة الخرسانية على طبقات على أن ترص كل طبقة يدوياً أو ميكانيكيا حتى تملأ تماما بالخرسانة ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المرصوصة كلياً = ك.

$$\text{عامل الرص} = \frac{\text{وزن الخرسانة المرصوصة جزئيا"(نتيجة هبوطها)}}{\text{وزن الخرسانة المرصوصة كلياً (نتيجة رصها)}} = \frac{\text{و}}{\text{ك}}$$

وبمعرفة عامل الرص يمكن تحديد درجة القابلية للتشغيل كما في الجدول رقم (3) والجدول رقم (4).

قابلية التشغيل	عامل الرص
منخفضة جدا"	0.78
منخفضة	0.85
متوسطة	0.92
عالية	0.95

جدول رقم (3) القابلية للتشغيل معبراً عنها بعامل الرص.

ت	درجة التشغيل	الهطول(mm)	عامل الرص	استعمالات الخرسانة
-1	منخفضة جدا" Very low	25 – 0	0.78	*- خرسانة للطرق مرصوصة بالاهتزاز (بالأجهزة اليدوية).
-2	منخفضة Low	50 – 25	0.85	*- خرسانة للطرق مرصوصة بالأجهزة اليدوية . *- خرسانة كتلية (Mass Concrete) للأساسات من غير رص. *- خرسانة للمقاطع القليلة التسليح باستعمال الهزازات.
-3	متوسطة Medium	100 – 50	0.92	*- خرسانة مسلحة للأعمال الاعتيادية(السقوف) مرصوصة يدويا" . *- خرسانة للمقاطع الكثيفة التسليح وباستعمال الهزازات.
-4	عالية High	175 – 100	0.95	*- خرسانة للمقاطع الكثيفة التسليح جدا" والغير الملائمة للاهتزاز.

جدول رقم (4) قابليات التشغيل المختلفة معبرا" عنها بقيم الهطول وعامل الرص.

شكل رقم (7) جهاز عامل الرص

ب- طريقة إعادة التشكيل بالاهتزازات الترددية Vebe Test

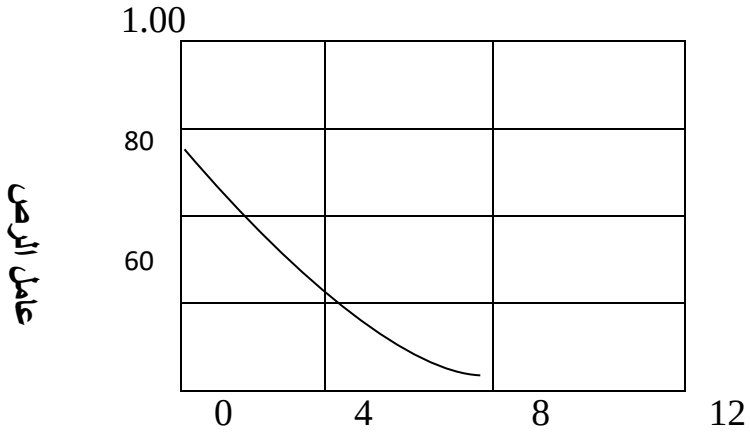
الجهاز المستخدم في هذا الفحص مبين بالشكل رقم (8).
في هذا الفحص يملأ المخروط الناقص بالخرسانة باربع طبقات وكل طبقة تدك بقضيب الرص القياسي 25 مرة موزعة بالتساوي على سطح الخرسانة . ثم يسوى سطحه ويرفع مباشرة" , بعد ذلك تعرض الخرسانة للاهتزازات الترددية باستعمال المنضدة الهزازة والتي تهتز بسرعة قدرها 3000 دورة / دقيقة .
تقاس قابلية التشغيل للخرسانة بالجهد اللازم لإعادة تشكيلها من مخروط ناقص إلى اسطوانة , ويقدر ذلك الجهد بالزمن (T) ثانية اللازم لإتمام إعادة التشكيل والذي يسمى عامل Vebe .
وفي بعض الأحيان يصحح هذا العامل بسبب تغير حجم الخرسانة من V_2 قبل عملية الاهتزاز إلى V_1 بعد عملية الاهتزاز وذلك بضربه بالقيمة V2/V1 أي أن:-

$$Vebe = T * \frac{V_2}{V_1}$$

وقيمة عامل التصحيح V_2/V_1 لتغير الحجم غالبا" ما تكون صغيرة لذلك فان الزمن T يعتبر كمقياس لقابلية تشغيل الخرسانة.
وهذا الجهاز أفضل من جهاز عامل الرص حيث قد تلتصق بعض الخرسانة الجافة بالأواني المخروطية المستخدمة بجهاز عامل الرص وهو مناسبً في حالة إختبار الخرسانة الجافة أو الخرسانة التي بها أليافً .و قد يستخدم أيضا للتعبير عن القوام.

شكل رقم (8) جهاز إعادة التشكيل Vebe

وبعد حساب عامل الزمن T يمكن استخراج قيمة عامل الرص من العلاقة بين T وعامل الرص وكما مبين بالشكل رقم(9) .



شكل (9) زمن Vebe (ثانية)

الفصل الخامس

مقاومة الخرسانة
Strength of Concrete

مقاومة الخرسانة Strength of Concrete

تعتبر مقاومة الخرسانة من أهم خواصها الأخرى كالمتانة وعدم النفاذية فهي تعطي صورة شاملة عن نوعية الخرسانة ودليل جيد لمعظم خواصها الأخرى .
إن مقاومة الخرسانة تنتج من :-
1- مقاومة الملاط (Mortar).
2- قوة التلاصق بين الملاط والركام الخشن.
3- مقاومة حبيبات الركام الخشن للإجهادات المسلطة.

أنواع مقاومة الخرسانة

1- مقاومة الضغط Compressive Strength
2- مقاومة الشد Tensile Strength
3- مقاومة الانحناء Flexural Strength
4- مقاومة القص Shear Strength
5- مقاومة التماسك Bond Strength

فحص مقاومة الضغط

الغرض من الاختبار Purpose of Test
يجرى إختبار تحديد مقاومة الضغط للخرسانة المتصلبة عادة بعد مرور(28) يوماً على صب العينات وفى بعض الأحيان بعد (7) أيام أو بعد فترة أخرى حسب الحاجة لمعرفة مقدار القوة التي تسبب الفشل لمكعبات الخرسانة.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- قوالب اما مكعب طول ضلعه (15) سم أو إسطوانة قطرها (15) سم وإرتفاعها (30) سم.
2- قضيب رص معدني مربع المقطع طول ضلعه 25 ملم.
3- جهاز فحص الانضغاط.

طريقة الاختبار:- Test Method

1- توزن الكميات اللازمة من الأسمنت والركام الناعم والركام الخشن والماء , ويراعى عند حساب الوزن أن تزيد كمية الخرسانة المخلوطة عن الخرسانة اللازمة لملء القوالب بحوالي15 % وذلك لتعويض أي فقد قد يحدث أثناء الإختبار.
2- يُعد قالب الإختبار وتُغطى أوجه القالب الداخلية بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف.
3- تخلط مكونات الخرسانة إما ميكانيكياً أو يدوياً خلطاً جيداً حتى يصبح لونها متجانس.
4- بمجرد الإنتهاء من الخلط تُجرى إختبارات القوام (الهبوط) مثلاً وأي إختبارات أخرى تكون مطلوبة مثل إختبارات القابلية للتشغيل (عامل الرص).
5- بعد إختبارات الخرسانة الطازجة يُملأ القالب مباشرة بالخرسانة على 3 طبقات وتدك كل طبقة إما بماكينة الإهتزاز أو يدويا حتى ترص الخرسانة رصاً تاماً دون حدوث إنفصال حبيبي.
6- تغطى القوالب بعد صبها مباشرة وتوضع في مكان درجة حرارته 15 إلى 20 درجة مئوية لفترة 24 ساعة ويلاحظ أن لا تتعرض لأي إهتزازات.

7- تؤشرالعينات الخرسانية بعد ذلك ثم تفك من القوالب وتُغمر في الحال في ماء نقى درجة حرارته حوالي 15- 20 درجة مئوية وتُترك حتى وقت الإختبار ويُفضل ترك مسافات بين المكعبات في أحواض المعالجة كما يُنصح بعدم وضع المكعبات فوق بعضها.

8- تختبر العينة بوضعها بجهاز الإختبار حيث يكون محورها منطبقاً مع محور رأس الجهاز وفى حالة العينة المكعبة يلزم أن يكون وجهي العينة الملامسين لسطحي رأس الجهاز هما الوجهين المقابلين للسطح الداخلي للقالب المعدني لضمان استوائهما وتوازيهما .أما في حالة العينة الأسطوانية فيلزم عمل مخدة لسطح كل من نهايتي الأسطوانة بطريقة تجعل سطح النهايتين مستويين ومتوازيين.والشكل رقم(6) يبين وضع المكعب والأسطوانة في جهاز الضغط . ولكل إختبار تختبر ثلاث عينات وتؤخذ القيمة المتوسطة للنتائج. تعرض العينة لحمل ضغط محوري بمعدل حوالي (14) نت/مم٢/دقيقة حتى الكسر وتدون النتائج كما في جدول رقم (4).

رقم العينة	التاريخ	عمر الخرسانة	وزن العينة	أبعاد العينة	مساحة الوجه	حمل الكسر	مقاومة الضغط نت/مم^2
1 2 3	تاريخ الصب تاريخ الكسر	7 أيام					
4 5 6	تاريخ الصب تاريخ الكسر	28 يوم					

جدول رقم (4) يبين كيفية تدوين النتائج لفحص مقاومة الضغط

شكل رقم (6) وضع للعينات المكعبة والاسطوانية في ماكينة الضغط

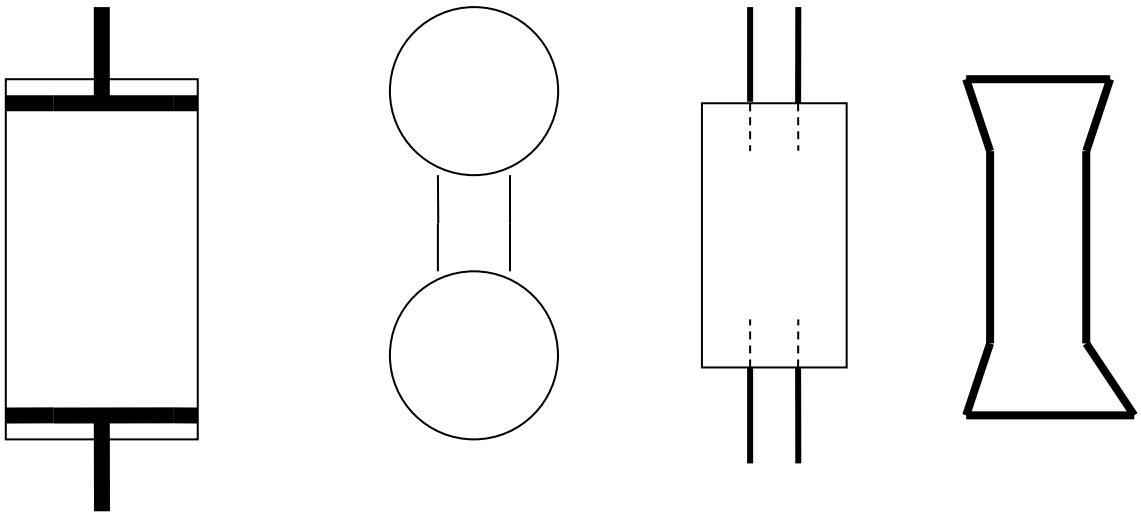
2- مقاومة الشد Tensile Strength

اختبار الشد المباشر_Direct Tensile Strength_

تطورت أشكال العينات الخرسانية في إختبار الشد المباشر كما هو موضح بالشكل رقم (7).
*- تحضر العينات للإختبار. بإجراء عمليات الخلط والصب والرص والمعالجة بنفس الطريقة السابق ذكرها في إختبار الضغط.
*- يجرى الإختبار بمسك العينة عند نهايتيها بماكينة الإختبار والتأثير بحمل الشد تدريجيا وببطء ويعين الحمل المسبب لكسر العينة حيث تنكسر معظمها في المنتصف وتحسب مقاومة الشد في هذه الحالة بقسمة الحمل الأقصى (Pmax) على مساحة مقطع العينة (A).

$$\text{مقاومة الشد المباشر} = \frac{P_{max}}{A} \quad \text{نت/مم}^2$$

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



شكل رقم (7) أشكال العينات الخرسانية في فحص الشد المباشر

اختبار الشد الغير المباشر(شد الانشطار)_Indirect Tensile Strength_

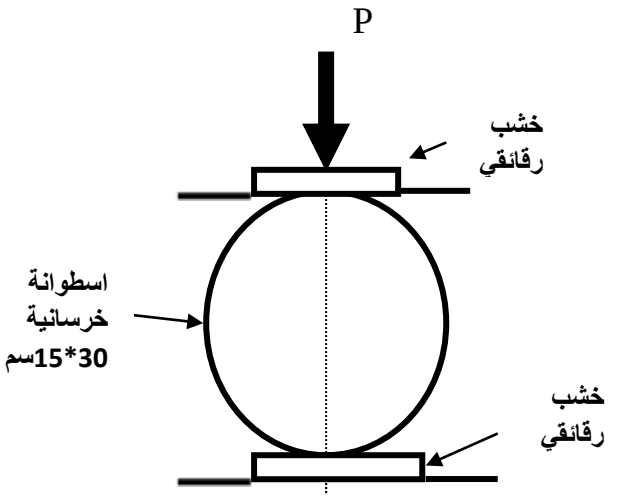
عينة الاختبار القياسية عبارة عن إسطوانة خرسانية قطرها ١٥ سم وطولها ٣٠ سم حيث توضع هذه الإسطوانة بين رأسي ماكينة الإختبار في وضع أفقي وعلى جانبيها بين شريحتين من الخشب أو المطاط بعرض ٢ سم تقوم هذه الشرائح بتوزيع قوة الانضغاط على عرض قليل والذي يكفي لتجنب أي تركيز غير مقبول للإجهاد وكذلك يعوض عن أي عدم انتظام في السطح.

وينتج عن قوة الانضغاط هذه إجهاد شد عرضي والذي يكون ثابتا" على طول القطر العمودي فيكزن الفشل في الشد على طول القطر العمودي للمقطع العرضي ويعين حمل الضغط المسبب لكسر العينة وعند إنهيارها يسجل الحمل الأقصى.

$$\text{مقاومة الشد غير المباشر } \sigma = \frac{2P}{\pi DL} \quad \text{نت/مم2}$$

P = الحمل الأقصى (نيوتن)
D = قطر الاسطوانة (مم)
L = طول الاسطوانة (مم)

إن. قيمة مقاومة الشد المحسوبة بهذه الطريقة تكون حوالي 15% أكثر من القيمة المقدرة بطريقة الفحص المباشر.



شكل رقم (8) ترتيب الحمل لنموذج فحص الشد الغير مباشر (شد الانشطار)

3- مقاومة الانحناء Flexural Strength

عندما تتعرض الخرسانة للإنحناء فإنه يمكن حساب مقاومة الإنحناء (التي تعتبر أيضاً مقياساً لمقاومة الشد غير المباشر) وتسمى معاير الكسر في الإنحناء Modulus of Rupture وتتراوح قيم إجهادات معاير الكسر في الإنحناء بين ١٢ % - 20% من مقاومة الضغط . وبالتالي فإن مقاومة الإنحناء تزيد عن مقاومة الشد للخرسانة بنسبة من ٦٠ إلى ١٠٠% وعموماً تؤخذ مقاومة الشد للخرسانة مساوية ل ٦٠ % من قيمة مقاومة الإنحناء .
ويجرى إختبار الإنحناء لتعيين مقاومة الخرسانة المتصلبة للإنحناء ودراسة سلوك الخرسانة عند تعرضها لأحمال إنحناء وكذلك شكل الكسر الناتج عن إنهيار هذه الخرسانة.

طريقة الاختبار Test Method

توضع الخرسانة في عتبة أبعادها الداخلية (١٥ * 15*70) سم أو (10×* 10*50) سم وذلك للركام الذي لا يزيد مقاسه الاعتباري الأكبر عن ٢٠ مم . تخلط الخرسانة وتملأ القوالب وتدمك وتعالج بنفس الطريقة المتبعة في الضغط ويعمل من نفس الخلطة الخرسانية عينات ضغط لإعطاء فكرة عن العلاقة بين الضغط والانحناء.

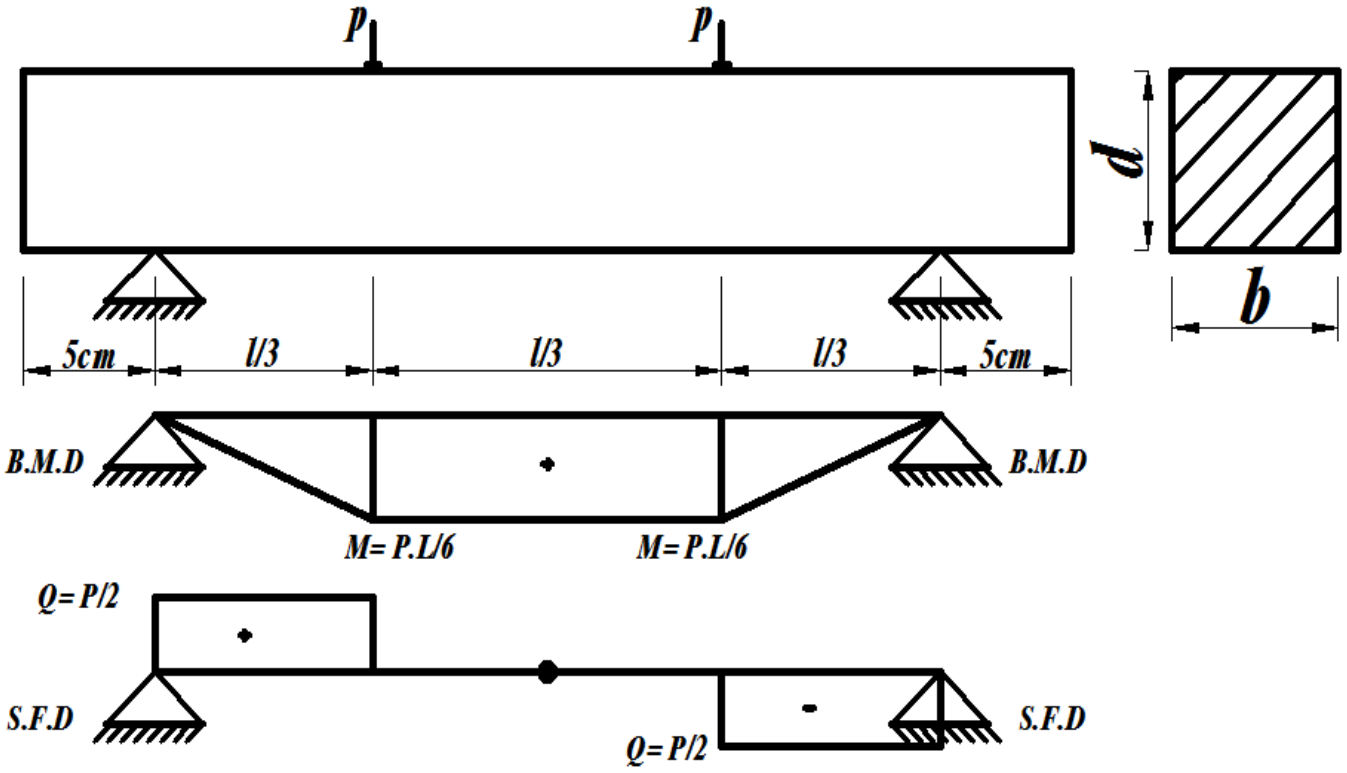
توضع القوالب في ماكينة الإختبار على ركيزتين كما هو مبين في شكل رقم (9) ويراعى أن يكون كل من قضيب الإرتكاز والتحميل بطول أكبر من عرض العتبة كما يكون التحميل تدريجيا وبمعدل منتظم يؤدى إلى الوصول بالقيمة النهائية للحمل في مدة حوالي ٥ دقائق.

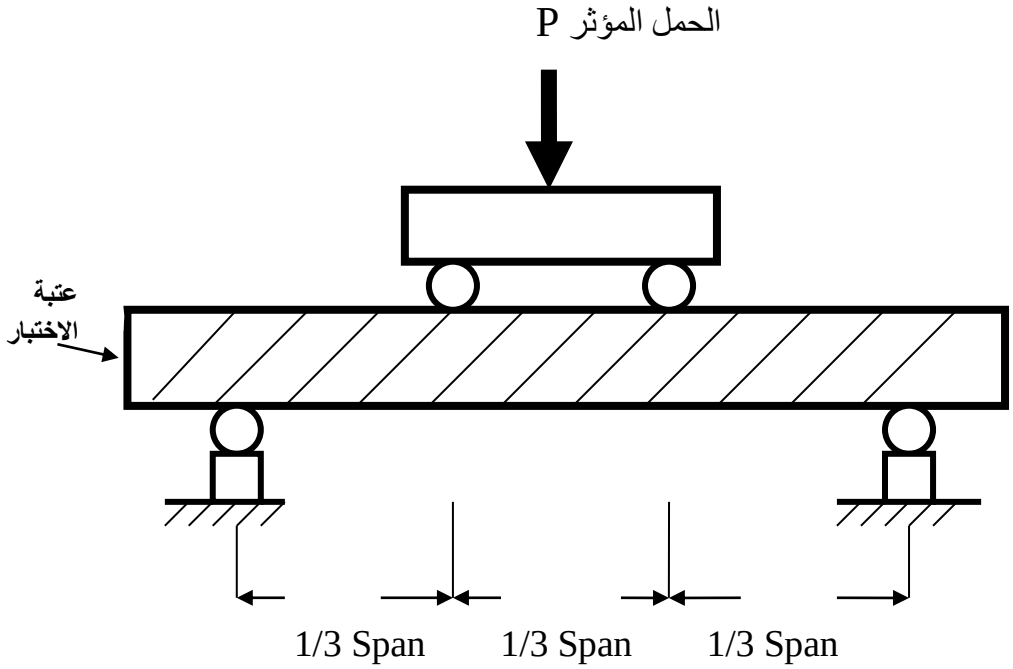
ويفضل إجراء اختبار الانحناء للخرسانة بتحميل عتبة الإختبار في نقطتين Two-Point Loading لأن ذلك يجعل جزء العتبة الذي يحدث بداخله الكسر معرض إلى عزم خالص Pure Bending دون تواجد قص في ذلك الجزء الأمر الذي يجعل الكسر نتيجة مقاومة الإنحناء فقط وتعبر نتائج الإختبار عن مدى تأثر الخرسانة بالإنحناء كما في شكل رقم (10).

يتم حساب إجهاد الكسر (F_{tb}) : حسب موقع الانهيار من المعادلة :

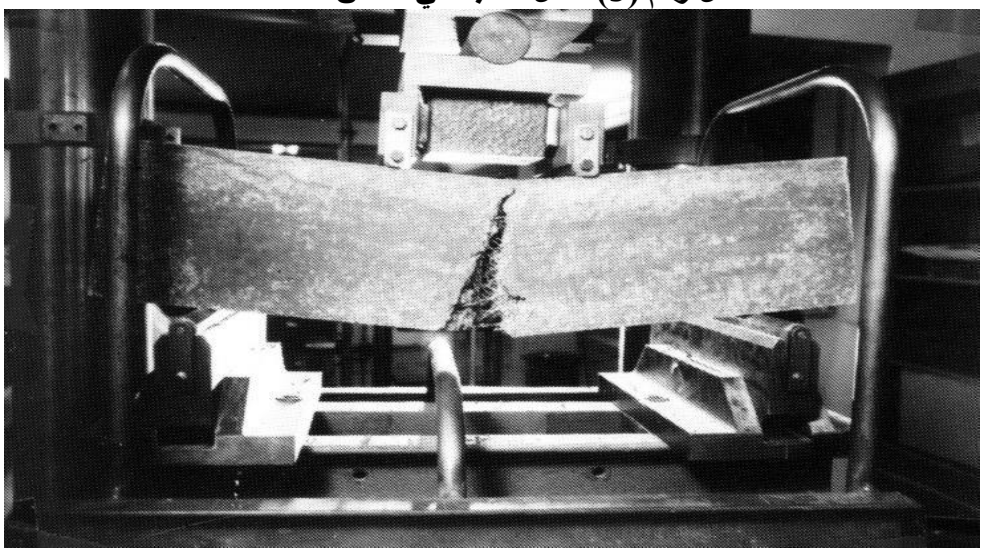
1- $F_{tb} = \frac{M.y}{I} = \frac{P_{max}.L}{b.d^2}$ **(في حالة الكسر في الثلث الأوسط من العينة)**

2- $F_{tb} = \frac{3*P_{max}.a}{b.d^2}$ **(في حالة الكسر خارج الثلث الأوسط من العينة $a \leq 0.05L$)**





شكل رقم (9) شكل العتبة في فحص الانحناء



شكل رقم (10) الكسر لعتبة في فحص الانحناء.

يدون حمل الكسر Pmax وتحسب مقاومة الإنحناء (معاير الكسر) من المعادلة:

$$Fb = \frac{Pmax \cdot L}{bd^2}$$

Pmax = الحد الأقصى للثقل الكلي المسلط على العتبة

L = مسافة الامتداد b = عرض العتبة d = عمق العتبة

ويمكن في بعض الأحيان- عند الضرورة -عمل إختبار الإنحناء بالتحميل في نقطة واحدة One-Point Loading وهى منتصف العتبة المختبرة ولا يعطى ذلك الإختبار إنحناء خالص بل إنحناء مصحوب بتأثير القص ويكون معاير الكسر له أقل من معاير الكسر في حالة التحميل في نقطتين.

الفصل السادس

تصميم الخلطات الخرسانية
Concrete Mix Design

تصميم الخلطات الخرسانية

تصميم الخلطات الخرسانية يعنى تحديد القيم النسبية لمكوناتها Proportioning بما يتفق مع المتطلبات المرغوبة لعمل معين. ويكون ذلك بإستخدام نسب ثُبتت فاعليتها من الخبرة وتسمى بالنسبة الوضعية Empirical Proportioning وقد يكون بطرق حسابية مبنية على أساس فنى تتضمن خواص المواد المستخدمة والخواص المطلوبة في الخرسانة المتصلدة (مثل مدى المقاومة للأحمال أو المقاومة للبرى) والإشتراطات التي تتطلبها خطوات صناعة الخرسانة مثل السهولة المناسبة للصب Placing والتسوية النهائية (التشطيب Finishing) لسطح الخرسانة.
وذلك مع مراعاة التكاليف الإقتصادية حسب نوع العمل الإنشائي المطلوب. وهذه الطرق الحسابية تهدف الى إستخدام المواد الموجودة Available Materials لنحصل منها على خرسانة ذات خواص مطلوبة في الحالتين الطازجة والمتصلدة وذلك بأقل التكاليف ويمكن إعتبار أن مقاومة الخرسانة للضغط تبين مدى جودة الخرسانة المتصلدة كما تعبر قيمة الهبوط Slump عن مدى جودة الخرسانة الطازجة.
ويعتبر تحديد نسب الخلطة الخرسانية من أهم العوامل التي تؤثر على جودة الخرسانة وعلى إقتصاديات المشروع. فمن الممكن الحصول على خرسانات متباينة في جودتها وثمنها بالرغم أن جميعها تتكون من نفس المواد. ويعتمد الإقتصاد النسبى للخلطات الخرسانية على أثمان مكوناتها وعلى أجور العمال وتكاليف النقل لتلك المكونات. ويعتبر الأسمنت أحد المكونات الأساسية للخرسانة والذى تؤثر نسبة وجوده في الخلطة تأثيراً كبيراً على تكاليفها نظراً لغلو ثمنه بالنسبة لباقي المكونات.

الاعتبارات الاساسية فى تصميم الخلطات الخرسانية

هنالك نقطتان مهمتان لابد من التأكيد عليهما هما الكلفة وامتلاك الخرسانة الحد الادنى من خواص محددة بمواصفات .

1- الكلفة

وتشمل المواد والمعدات واجور العمال. ويكون الهدف عند تصميم الخلطات هو تقليل كمية الاسمنت لكونه اعلى كلفة من باقي المكونات الاخرى , وهنالك فائدة اخرى غير اقتصادية من تقليل كمية الاسمنت هي :-

*- يؤدي تقليل كمية الاسمنت في الكتل الخرسانية الضخمة كالسدود الى تقليل الحرارة المنبعثة نتيجة عملية الاماهة وبالتالي تقليل التشققات في الخرسانة.
*- يؤدي تقليل كمية الاسمنت الى تقليل الانكماش نتيجة لزيادة كمية الاسمنت كما في الخلطات الغنية بالإسمنت .

عند تقدير كلفة الخرسانة من الضروري الاخذ بنظر الاعتبار التغير (variability) الحاصل في مقاومة الخرسانة بسبب اعتماد الحد الادنى للمقاومة (minimum strength) كمحدد في المواصفات الموضوعة من قبل المصمم الانشائي ومعيار فعلي لقبول الخرسانة, بينما تكون الكلفة الفعلية للخرسانة مرتبطة بالمواد المستعملة لإنتاج معدل مقاومة(mean strength) معين.
ولهذا التفاوت تتوضح اهمية السيطرة النوعية (quality control) فكلما كانت السيطرة النوعية افضل كلما كان الفرق بين الحد الادنى للمقاومة ومعدلها اقل , ان السيطرة النوعية تمثل مصروفا" اضافيا" لكل من عملية الاشراف ومعدات الخلط .
كما وتتأثر كلفة اجور العمل بدرجة كبيرة بقابلية التشغيل , فقابلية التشغيل الغير ملائمة لوسائل الرص المتوفرة تؤدي الى ارتفاع اجور العمل او الى عدم الحصول على خرسانة مرصوصة بصورة كافية وبالتالي زيادة الكلفة.
ويجب الاخذ بنظر الاعتبار الاستفادة من المواد الاولية المتوفرة بالقرب من موقع العمل لتلافي نقلها من مواقع بعيدة وبالتالي زيادة الكلفة.

2- المواصفات Specification

تحدد المواصفات الحدود الدنيا لعدد من الخواص المطلوبة ومنها:-
*- الحد الادنى لمقاومة الانضغاط والذي يكون مهم للاعتبارات الانشائية.
*- الحد الاعلى لنسبة الماء/ الاسمنت (W/C) او الحد الادنى لمحتوى الاسمنت او الحد الادنى لمحتوى الهواء المقصود لإعطاء متانة مقبولة.
*- الحد الاعلى لمحتوى الاسمنت لتلافي الانكماش والحرارة العالية التي تسبب التشقق.
*- الحد الادنى لكثافة المنشآت المتكونة من كتل خرسانية ضخمة.
كل هذه المتطلبات يجب تثبيتها في حسابات تصميم الخلطة وهي التي تحدد نسب الخلط للمادة المستعملة.

تحدد المواصفات الحد الادنى لمقاومة الخرسانة المستعملة لأغراض مختلفة وحسب ما مبين في الجدول ادناه :-

ت	نوع الخرسانة	الحدود الدنيا للمقاومة (نت/مم2)
1	الخرسانة الاعتيادية Plain Concrete	7
2	الخرسانة المسلحة والحاوية على ركام خفيف Reinforced Concrete with lightweight aggregate	15
3	الخرسانة المسلحة والحاوية على ركام اعتيادي Reinforced Concrete with normal aggregate	20
4	الخرسانة ذات الشد اللاحق Post-tensioned Concrete	30
5	الخرسانة مسبقة الشد Pre-tensioned Concrete	40

كيفية بيان نسب مكونات الخرسانة Expressing Proportions

1- تُبَيَن مكونات الخرسانة من المواد الحبيبية Granular Materials وهى الأسمنت والركام الناعم والركام الخشن عادة على هيئة نسب Ratios بالوزن أو بالحجم فمثلا عندما يقال خلطة 1: 2: 4 معناها

أسمنت	رمل	حصو
1	2	4

أي تحتوى على جزء من الأسمنت وجزئيين من الرمل وأربعة أجزاء من الحصو. وتفضل أن تكون تلك النسب بالوزن لعدم إمكان التحديد الدقيق لكمية الأسمنت والركام بالحجم نتيجة تغير الكمية التي يستوعبها حجم معين بتغيير مدى الرص Compaction المستخدم. كما أن الركام الناعم قد يتغير حجمه بتأثير ظاهرة زيادة الحجم Bulking بالرطوبة.

2- وقد تُبَيَن نسب المواد الحبيبية بما يحتويه المتر المكعب للخرسانة الطازجة من الأسمنت والركام الناعم والركام الخشن على أن يُبين الأسمنت بالوزن والركام بالحجم تسهيلاً لتحضير الكميات عند الخلط فمثلا بخلطة .

أسمنت	رمل	حصو
300 كغم (6 كيس أسمنت)	٠,٤ متر مكعب	٠,٨ متر مكعب

ومجموع هذه الكميات يعطى تقريبا" بعد خلطها بالماء حوالي متر مكعب من الخرسانة الطازجة.

3- وُتبَيَن كمية الماء اللازمة للخلطة على هيئة نسبة من الأسمنت بالوزن فمثلا خلطة بها نسبة الماء الى الأسمنت(w/c) = ٠,٥ بالوزن ، فاذا علم وزن الأسمنت في المتر المكعب للخرسانة الطازجة أمكن تعيين وزن الماء اللازم له لإجراء الخلط وبالتالي يمكن تعيين حجم ذلك الماء باللتر. وأحياناً قد تُبَيَن كمية ماء الخلط اللازمة للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة مباشرة فمثلا خلطة:

أسمنت	رمل	حصو	ماء
300 كغم	٠,٤ م^3	٠,٨ م^3	150 لتر

4- وتُبَيَن كمية الإضافات -إن وجدت- على أساس أنها نسبة مئوية من وزن الأسمنت المستخدم بالخلطة فمثلا خلطة:

أسمنت	رمل	حصو	ماء
300 كغم	٠,٤ م^3	٠,٨ م^3	150 لتر

بها ٢ % ملدنات تعنى أن وزن الملدنات المستخدم ٠,٠٢ ×300 = 6 كغم للمتر المكعب من الخرسانة الطازجة.

تصميم الخلطة حسب الطريقة الامريكية

خطوات التصميم

1- اختيار مقدار الهطول.

في حالة عدم تحديد مقدار الهطول في المواصفات يتم اختيار الهطول المناسب للعمل من الجدول رقم (1) والقيم المثبتة بالجدول على اساس استعمال الهزاز في عملية الرص وفي حالة استخدام اساليب اخرى لرص الخرسانة فمن الممكن زيادة القيم المبينة بمقدار 2 سم .

ت	نوع المنشأ	مقدار الهطول سم	
		الحد الادنى	الحد الاعلى
1	الاسس المسلحة للجدران والاعمدة	2	8
2	الاسس الغير مسلحة وجدران الهياكل الثانوية	2	8
3	العتبات والجدران المسلحة	2	10
4	الاعمدة	2	10
5	بلاطات وارصفة الطرق	2	8
6	خرسانة كتلية	2	8

جدول رقم (1) قيم الهبوط لأنواع مختلفة من المنشآت

ملاحظة:-

في حالة اختلاف مقدار الهطول الفعلي(في موقع العمل) عن الافتراضي فيتم تعديل كمية الماء بمقدار (2-4 kg\m^3) لكل (1cm) في الزيادة او النقصان للهطول.

فمثلا" اذا كان الهطول المطلوب (10 سم) وظهر بعد الخلط (8سم) فيتم زيادة كمية الماء (4 kg / m^3) اما اذا ظهر الهطول بعد الخلط (12سم) فيتم تقليل كمية الماء بمقدار(4 kg / m^3).

2- اختيار المقاس الاقصى للركام

يستعمل اكبر مقاس للركام المتوفر بصورة اقتصادية ويجب ان يناسب المقاس ابعاد المنشأ الخرساني وان لا يزيد المقاس الاقصى عن 1\5 اقل بعد بين جانبي القالب او عن 1\3 عمق البلاط او 3\4 اصغر مسافة بين قضبان حديد التسليح.

3- تقدير كمية ماء الخلط ومحتوى الهواء

من جدول رقم (2) يتم تقدير كمية ماء الخلط المطلوبة لأنواع الخرسانة (الخرسانة الاعتيادية والخرسانة الحاوية على هواء مقصود) من معرفة المقاس الاقصى للركام ومقدار الهطول .

الهطول (مم)	كمية الماء (كغم \م^3) من الخرسانة للمقاسات القصوى للركام (مم)							
	10	12.5	20	25	40	50	70	150
الخرسانة الاعتيادية								
5-3	206	200	185	180	160	155	145	125
10-8	225	215	200	195	175	170	160	140
18-15	240	230	210	205	185	180	170	---
القيم التقريبية للهواء المحصور في الخرسانة الاعتيادية كنسبة مئوية	3	2.5	2	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
الخرسانة الحاوية على الهواء المقصود								
5-3	180	175	165	160	145	140	135	120
10-8	200	190	180	175	160	155	150	135
18-15	215	205	190	185	170	165	160	---
المعدلات المقترحة لمحتوى الهواء الكلي كنسبة مئوية	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

جدول رقم (2) القيم التقريبية لمتطلبات ماء الخلط ومحتوى الهواء لمقادير مختلفة من الهطول والمقاسات القصوى للركام.

4- اختيار نسبة الماء/ الاسمنت

من جدول رقم (3) يتم تقدير نسبة الماء \ الاسمنت من معرفة قيمة مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم لأنواع الخرسانة (الخرسانة الاعتيادية والخرسانة الحاوية على هواء مقصود).

ت	مقاومة الانضغاط بعمر 28(نت/مم^2)	نسبة الماء/الاسمنت	
		الخرسانة الاعتيادية	الخرسانة الحاوية على هواء مقصود
1	45	0.38	--
2	40	0.43	--
3	35	0.48	0,40
4	30	0.55	0.46
5	25	0.62	0.53
6	20	0.70	0.61
7	15	0.80	0.70

جدول رقم (3) العلاقة بين نسبة الماء/ الاسمنت ومقاومة الخرسانة

5- احتساب محتوى الاسمنت

يمكن احتساب كمية الاسمنت المطلوبة لوحدة الحجم من الخرسانة من التقديرات في الخطوات رقم 1 , 2 وحسب العلاقة التالية :-

$$\text{كمية الاسمنت} = \frac{\text{كمية ماء الخلط المقدرة}}{\text{نسبة الماء \ الاسمنت}}$$

اما اذا حددت المواصفات الحد الادنى لمحتوى الاسمنت فيجب اخذ القيمة الاكبر من محتوى الاسمنت.

6- تقدير محتوى الركام الخشن

من جدول رقم (4) يتم تقدير حجم الركام الخشن بالنسبة لوحدة الحجم من الخرسانة. وللحصول على الوزن الجاف للركام الخشن نضرب القيمة المستخرجة من الجدول في وحدة الوزن للركام الجاف والمرصوص بالدك اليدوي(كغم/م^3).

المقاس الاقصى للركام (مم)	حجم الركام الخشن الجاف والمرصوص بالدك اليدوي لكل وحدة حجم من الخرسانة ولمقادير مختلفة من معامل النعومة للرمل.			
	2.4	2.6	2.8	3.0
10	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.76	0.74	0.72	0.70
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.87	0.85	0.83	0.81

جدول رقم (4) حجم الركام الخشن لكل وحدة حجم من الخرسانة

7- تقدير محتوى الركام الناعم

أ- طريقة الوزن:- Weight method

اذا كان وزن الخرسانة معلوم (كثافتها) فأن الوزن المطلوب من الركام الناعم يمثل الفرق بين وزن الخرسانة والوزن الكلي لبقية مكونات الخرسانة (الحصى, الاسمنت ,الماء) .

اما اذا كان وزن الخرسانة غير معلوم فيمكن تقديرها من جدول رقم (5) .

ت	المقاس الاقصى للركام (مم)	التقدير الاولي لوزن الخرسانة كغم/م^3	
		الخرسانة الاعتيادية	الخرسانة الحاوية على الهواء المقصود
1	10	2285	2190
2	12.5	2315	2235
3	20	2355	2280
4	25	2375	2315
5	40	2420	2355

6	50	2445	2375
7	70	2465	2400
8	150	2506	2435

جدول رقم (5) التقدير الاولي لوزن الخرسانة الطرية

ب- طريقة الحجم المطلق:-Absolute volume method

هذه الطريقة اكثر دقة من طريقة الوزن وتستند على الحجوم المزاحة من قبل مكونات الخرسانة (الماء , الهواء , الاسمنت , الركام الخشن) حيث تطرح هذه الحجوم للخرسانة من وحدة الحجم للخرسانة للحصول على الحجم المطلوب من الركام الناعم حيث ان الحجم المشغول في الخرسانة لأي من مكوناتها يساوي وزن المادة مقسوما" على كثافتها.

8- حساب محتوى الرطوبة للركام

اذا كان الركام المستعمل للخلطة رطبا" فيجب زيادة وزنه بنفس نسبة محتوى الماء فيه اي مجموع نسب الماء الممتص والملتصق وتقليل ماء الخلط المضاف للخلطة بنفس تلك النسبة في حالة الركام (اي محتوى الرطوبة الكلي ناقصا" الماء الممتص).
وقد بينت الفحوصات المختبرية بان محتوى الرطوبة الكلي للركام الخشن والناعم تساوي 2% , 6% على التوالي.
لذلك سيصبح

وزن الركام الخشن المعدل = 1.02 x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
وزن الركام الناعم المعدل = 1.06 x وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج

اما بالنسبة للماء فان الماء الممتص لا يؤثر على كمية ماء الخلط ولهذا يستثنى في التعديلات وتعدل كمية الماء الملتصق بسطح الركام (الخشن والناعم) والذي يشارك مع ماء الخلطة ولهذا يجب ان تطرح هذه الاوزان من وزن ماء الخلطة وكالاتي:-

للركام الخشن = (0.02 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
للركام الناعم = (0.06 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج

مثال :-
المطلوب تصميم خلطة خرسانية للاستعمال في منشأ تحت مستوى الارض ولكن في موقع لا يتعرض لظروف قاسية او لهجوم املاح الكبريتات وان تفي بالمتطلبات التالية :-

1- معدل مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم = 25 نت/ مم^2
2- مقدار الهطول = 8-10 سم
3- الكثافة النسبية للاسمنت البورتلاندي المستعمل = 3.15
4- خواص الركام الخشن:-
المقاس الاقصى = 40 مم
الوزن الجاف بالدك اليدوي = 1600 كغم /م^3
الكثافة الكلية النسبية = 2.68
نسبة الامتصاص = 0.5%
5- خواص الركام الناعم:-
الكثافة النسبية الكلية = 2.64
نسبة الامتصاص = 0.7%

معامل النعومة = 2.8
الحل:-
1- من جدول رقم (2) [ولهطول 8-10 سم ومقاس اقصى للركام الخشن مقداره 40 ولخرسانة اعتيادية] فان كمية الماء اللازمة = 175 كغم \ م^3
2- من جدول رقم (3) ولمقاومة انضغاط مقدارها 25 نت\ مم^2 فان نسبة الماء \ الاسمنت = 0.62
كمية الاسمنت المطلوبة = 175 \ 0.62 = 282 كغم \ م^3
3- من جدول رقم (4) فان كمية الركام المقدرة لمعامل نعومة الرمل مقداره 2.8 ومقاس اقصى للركام الخشن مقداره 40 مم هي 0.72 م^3

لذا فان وزن الركام الخشن والجاف المطلوب = 0.72 X 1600 = 1152 كغم

4- ايجاد وزن الركام الناعم

ا- طريقة الوزن
من جدول رقم (5) ولمقاس ركام خشن مقداره 40 مم فان وزن المتر المكعب للخرسانة الاعتيادية = 2420 كغم\م^3
وبذلك سيكون وزن الركام الناعم هو وزن الخرسانة مطروحا منه وزن المكونات الاخرى (الماء , الاسمنت , الركام الخشن)
وزن الركام الناعم = 2420 – 175 – 282 - 1152 = 811 كغم

ب- طريقة الحجم المطلق
من جدول رقم (2) تقدر نسبة محتوى الهواء المحصور وتساوي 1 %
حجم الماء = الوزن \ الكثافة = 175\1000 = 0.175 م^3
حجم الاسمنت = 282 \1000 x 3.15 = 0.09 م^3
حجم الركام الخشن = 1152\1000 x 2.68 = 0.43 م^3
حجم الهواء المحصور= 0.01 م^3

الحجم الكلي للمكونات عدا الرمل = 0.175 + 0.09 + 0.43 + 0.01 = 0.705 م^3
الحجم المطلوب للرمل = 1.0 – 0.705 = 0.295 م^3
الوزن المطلوب للرمل الجاف = 0.295 x 2.64 x 1000 = 779 كغم

حساب محتوى الرطوبة:-

بالنسبة للركام المعدل
وزن الركام الخشن المعدل = 1.02 x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
= 1.02 x 1152
= 1175 كغم
وزن الركام الناعم المعدل = 1.06 x وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج
= 1.06 x 811 = 860 كغم
بالنسبة للماء المعدل فيحسب كالاتي
للركام الخشن = (0.02 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
= 1152 x (0.005– 0.02)
= 17 كغم

للركام الناعم = (0.06 – نسبة الامتصاص) x وزن الركام الخشن التجريبي المستخرج
= 811 x (0.007 – 0.06)
= 43 كغم

اذن وزن الماء المضاف واللازم للخليط = 175 – 17 – 43 = 115 كغم

فتكون الاوزان المطلوبة للمواد لإنتاج متر مكعب من الخرسانة هي:

الماء المضاف	= 115 كغم
الاسمنت	= 282 كغم
الركام الخشن (الرطب)	= 1175 كغم
الركام الناعم (الرطب)	= 860 كغم
المجموع	= 2432 كغم \ $م^3$

المصادر References

1- الخرسانة أ.د. محمود الامام

2- تكنولوجيا الخرسانة د. مؤيد نوري خلف و هناء عبد يوسف

3- الانترنيت.