جامعة الانبار
كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

تكنولوجيا الخرسانة
Technology of Concrete

85

اعداد التدريسي
محمد حمود مهنا

2019 - 2020

الفصل الاول

الخرســـانـــة Concrete

الاسمنت البورتـــلانـدي Portland Cement

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 = مادة مالئة + مادة رابطة
Concrete = Filler + Binder

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

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

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

5- الخرسانة الخاصة = الركام الخشن والناعم + عجينة الاسمنت + المضافات
Special Concrete = Coarse & Fine Agg + Cement Paste + Admixture

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

خواص الخرسانة

تعتمد خواص الخرسانة بصورة أساسية على ما يلي :-
1- خواص ونسب خلط المواد الأولية المستعملة في إنتاجها (الركام بنوعيه , الاسمنت , الماء)
2- اسلوب خلط المواد الأولية.
3- عملية نقل الخرسانة الى موقعها في القالب.
4- طريقة رص ومعالجة الخرسانة.
5- العامل الاقتصادي.
6- الظروف الجوية المحيطة بالخرسانة.
7- نوعية المنشأ الذي تستعمل فيه.
8- السيطرة النوعية في موقع العمل.

تصنيف الخرسانة Concrete Classification

من الممكن تصنيف الخرسانة بالنسبة الى وزنها أو كثافتها إلى :-

1- الخرسانة الاعتيادية الوزن Normal Weight Concrete (N.W.C)

كثافة هذا النوع من الخرسانة بحدود (2400 Kg /m³) وهي أكثر أنواع الخرسانة استخداما".

2- الخرسانة خفيفة الوزن Light Weight Concrete (L.W.C)

كثافة هذا النوع من الخرسانة بحدود (1850 Kg/m³ – 300) و تستخدم لإغراض العزل الحراري وفي الحالات التي يراد تقليل الوزن على الأسس.

انواع الخرسانة الخفيفة الوزن :-

أ- الخرسانة ذات الركام الخفيف Structural Lightweight Aggregate Concrete
ب- الخرسانة المهواة Aerated Concrete
ج- الخرسانة الخالية من الرمال No Fine Concrete

3- الخرسانة العالية الكثافة Heavy Weight Concrete

كثافة هذا النوع من الخرسانة بحدود (3200 K /m³) وتستخدم في عمل درع واق من الإشعاع في المفاعلات النووية.

وتصنف الخرسانة بالنسبة الى مقاومة الانضغاط الى :-

1- خرسانة ذات مقاومة قليلة اقل من 20 MPa
2- خرسانة ذات مقاومة متوسطة تتراوح بين 20 – 40 MPa
3- خرسانة ذات مقاومة عالية اكبر من 40 MPa

وهناك أنواع عديدة من الخرسانة المعدلة :-

1- الخرسانة البوليمرية Polymer Concrete
2- الخرسانة المسلحة بالألياف Fiber Reinforced Concrete
3- الخرسانة المعرضة للانكماش Shrinkage Compensated Concrete
4- الخرسانة ذات قابلية التشغيل العالية High Workability Concrete
5- الخرسانة الكتلية Mass Concrete
6- الخرسانة المقذوفة (خرسانة الرش) Shot Crete
7- الخرسانة ذاتية الرص Self-compacting Concrete

فوائد وسلبيات الخرسانة

	الفوائد Advantages	السلبيات Disadvantages
1-	إمكانية الخرسانة للصب بالشكل والهيئة المطلوبة (الأقواس , الأعمدة , الدعامات).	ذات مقاومة شد واطئة Low Tensile Strength
2-	تكون اقتصادية لتوفر المواد الأولية لها.	ذات قابلية سحب وطرق واطئة Low Ductility
3-	ذات ديمومة عالية حيث تبقى لفترة طويلة لا تحتاج الى صيانة عند تصميم الخلطة بصورة مناسبة للظروف الخدمية وعند صبها بصورة جيدة.	غير ثابتة الحجم حيث تتعرض للانكماش Shrinkage والزحف Creep.
4-	لا تحتاج الى تغطية إلا في بعض الأجواء القاسية.	صعوبة السيطرة على عملية إنتاج ووضع الخرسانة على عكس المواد الأخرى كالحديد.
5-	مقاومتها عالية للنار Fire Resistance	يجب استعمال القوالب الساندة لحين التصلب.

الاسمنت البورتلاندي Portland cement

الاسمنت :-

وهي المادة التي تمتلك خواص تماسكية (Cohesive) وتلاصقية (adhesive) .بوجود الماء مما يجعله قادرا على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض و تماسكها مع حديد التسليح وتحويلها الى وحدة كاملة مترابطة.

والاسمنت له خاصية التجمد (setting) والتصلب (Harding) بفعل التفاعلات الكيماوية وبوجود الماء لذلك يعرف بالاسمنت المائي أو الهيدروليكي (hydraulic cement) .

اكتشف الاسمنت البورتلاندي (Portland cement) من قبل البناء الانكليزي جوزيف اسبيدن عام 1824 وذلك بحرق خليط من الطين (Clay) والحجر الجيري الصلب (hard limestone) المسحوق ناعما في الفرن وسمي بالاسمنت البورتلاندي نسبة الى جزيرة بورتلاند بإنكلترا التي تحوي أحجار البناء التي لها نفس لون وجودة الاسمنت البورتلاندي .

صناعة الاسمنت:-

يصنع الاسمنت وذلك بخلط مواد كلسية مثل الحجر الجيري $CaCO_3$ (Lime Stone) أو الحجر الجيري الطباشيري (Chalk) مع مواد طينية مثل الأحجار الطينية الرخوة (Shale) أو الطين (Clay).

المكونات الرئيسية الداخلة في صناعة الاسمنت البورتلاندي

1- أوكسيد الكالسيوم (CaO) وهذا يوجد في الحجر الجيري ($CaCO_3$) والحجر الجيري الطباشيري.

$$CaCO_3 \xrightarrow{\text{تسخين بالفرن}} CaO + CO$$

2- ثاني اوكسيد السليكون أو السليكا (SiO_2) وهذا يوجد في الطين.
3- الالومينا والحديد وهذه موجودة في الطين.
4- المغنيسيا والقلويات (Alkalis , الصوديوم, الكالسيوم, البوتاسيوم) والفوسفات وهذه موجودة في الطين.
يتم طحن وخلط المواد الأولية بصورة جيدة وبنسب محددة ومن ثم حرقها بفرن دوار كبير (Rotary kiln) قطره حوالي (5m) وطوله (150m) بدرجة حرارة تتراوح بين C(1500-1300) حيث تنصهر المادة وتتكتل على شكل كرات صغيرة تعرف بالكلنكر (Clinker) ومن ثم يبرد الكلنكر ويطحن الى مسحوق ناعم بعد إضافة كبريتات الكالسيوم المائية (CaSO4.2H2O) والمعروفة بالجبس (Gypsum) واللون الرمادي للاسمنت البورتلاندي ناتج عن وجود عنصر الحديد.

طرق صناعة الاسمنت

1- الطريقة الرطبة (Wet Process)
يتمم طحن ومزج المواد الأولية بوجود الماء وهذه الطريقة تستعمل عندما تكون نسبة الرطوبة في المواد الأولية عالية.

2- الطريقة الجافة (Dry Process)
يتمم طحن ومزج المواد الأولية بحالتها الجافة وهذه الطريقة تستعمل:-

* عندما تكون المواد الأولية صلدة لا تتفتت بالماء.
* في البلدان الباردة لمنع تجمد الماء في الخليط.
* في حالة شحة الماء اللازم لعملية الخلط.

المقارنة بين الطريقة الرطبة والجافة

ت	الطريقة الرطبة	الطريقة الجافة
1-	حجم الفرن الدوار اكبر.	حجم الفرن الدوار اصغر.
2-	كمية الوقود اللازمة لإزالة الرطوبة اكبر.	كمية الوقود اللازمة لإزالة الرطوبة اقل.
3-	اقل اقتصادية.	أكثر اقتصادية.
4-	يمكن الحصول على مواد متجانسة بسهولة.	لا يمكن الحصول على مواد متجانسة بسهولة.
5-	تحتاج المكائن والمعدات الى صيانة وإدامة اقل.	تحتاج المكائن والمعدات الى صيانة وإدامة أكثر.

يصنع الاسمنت وذلك بخلط مواد كلسية مثل الحجر الجيري $CaCO_3$ (Lime Stone) أو الحجر الجيري الطباشيري Chalk مع مواد طينية مثل الأحجار الطينية الرخوة (الطفل) Shale أو الطين Clay بعد طحنها و تجرى عملية الطحن و الخلط بالطريقة الجافة أو الرطبة و يتم تحليل المواد الخام ثم طحنها وخلطها بالنسب المحسوبة لأى نوع من انواع الأسمنت.

تحرق المواد باستخدام فرن كبير يسمى بالفرن الدوار (rotary kiln) ذو شكل اسطواني مصنع من الحديد ومبطن من الداخل بمادة مقاومة للانصهار (طابوق ناري).

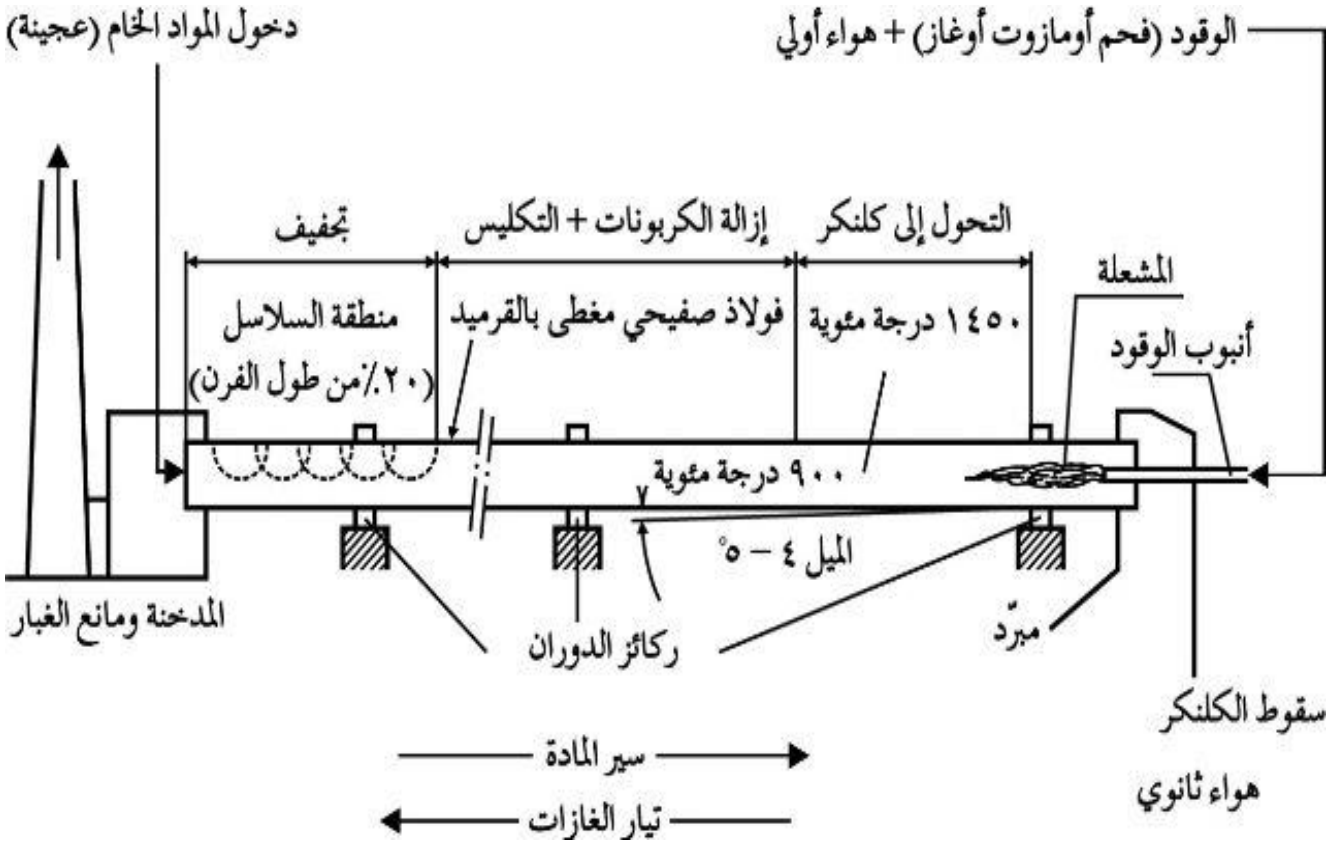
يصل قطر الفرن الى 8 أمتار وطوله الى 230 متر في الطريقة الرطبة، وفي الطريقة الجافة يصل قطره الى 6 متر، وطوله الى 105 متر. يدور ببطئ حول محوره الطولي والذي يميل قليلا عن الافق. يضخ النفط او الغاز الطبيعي من النهاية السفلى للفرن، بينما يتم تغذية المواد من النهاية العليا وأثناء حركتها نحو الاسفل ترتفع درجة الحرارة تدريجياً وتعاني المواد سلسلة من التفاعلات الكيماوية:-

1- لغاية 100 °م تفقد المواد الاولية الماء الطليق.
2- بين 150 - 500 °م يتم فقدان الماء المتحد كيميائياً.
3- عند درجة حرارة 600 °م يبدأ تحلل كاربونات المغنيسيوم الموجودة في حجر الكلس.
4- عند درجة حرارة 900 °م يبدأ تحلل كاربونات الكالسيوم.
5- مرحلة ذوبان المواد الرئيسية مثل أكاسيد الكالسيوم والألمونيوم والحديد في درجة حرارة 1250 -1350 °م والتى عندها بداية الانصهار.
6- في مناطق الفرن السفلى حيث درجات الحرارة العالية 1300 - 1500 درجة مئوية تتحول من 20 – 30 % من المادة الجافة إلى سائلة (انصهار)، وتتم إعادة اتحاد الجير(الكلس) والسليكا والالومينا وتكوين مركبات جديدة وهي:

1- سيليكات ثلاثي الكالسيوم C_3S
2- سيليكات ثنائي الكالسيوم C_2S
3- ألومينات ثلاثي الكالسيوم C_3A
4- ألومينات حديد رباعي الكالسيوم C_4AF

وفي النهاية تتكتل المادة إلى كرات صغيرة قطرها 3- 25 ملم تسمى الكلنكر ومن ثم يبرد الكلنكر ويطحن الى مسحوق ناعم بعد إضافة كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO4.2H2O$) والمعروفة بالجبس (Gypsum) وفائدته تنظيم زمن التجمد للاسمنت.

اللون الرمادي للاسمنت البورتلاندي ناتج عن وجود عنصر الحديد.والشكل رقم (1) يبين صورة ورسم توضيحي للفرن الدوار في صناعة الاسمنت.



شكل رقم (1) صورة ورسم توضيحي للفرن الدوار في صناعة الاسمنت.

الخواص الفيزيائية للاسمنت البورتلاندي Physical Properties of Portland Cement

* الاسمنت البورتلاندي عبارة عن مسحوق رمادي حبيباته لها وزن نوعي (3.15) وحجم يتراوح بين (80-20) مايكرون وحجم الحبيبة يعتمد على طريقة الطحن ويمكن أن يتغير حسب متطلبات الاسمنت.
* جزيئات الاسمنت ذات حجم صغير بحيث من الصعوبة قياسها بالتحليل المنخلي كما في حالة الركام, وبذلك يتم اللجوء الى تحديد المساحة السطحية النوعية (Specific Surface Area) لوحدة الوزن كقياس بديل.
* يتم تعيين المساحة السطحية النوعية للإسمنت في الولايات المتحدة الأمريكية بطريقة (Blaine) وهي الأكثر شيوعا" ومبنية على أساس قياس سرعة انتشار الهواء تحت ضغط ثابت خلال نموذج صغير مضغوط من الاسمنت . وتتراوح قيم المساحة السطحية النوعية المقاسة بهذه الطريقة بين ($300-500 m^2/Kg$) لأغلب أنواع الاسمنت المستعمل.

الخواص الكيميائية للإسمنت البورتلاندي Chemical Properties of Portland Cement

ان المواد الأولية المستعملة في صناعة الاسمنت البورتلاندي تتكون بصورة رئيسية من :-

1- الحجر الجيري (CaO) ويرمز له بالحرف C
2- السليكا (SiO_2) ويرمز له بالحرف S
3- الالومينا (Al_2O_3) ويرمز له بالحرف A
4- اوكسيد الحديد (Fe_2O_3) ويرمز له بالحرف F

تتفاعل هذه المركبات مع بعضها البعض داخل الفرن الى ان يتم الوصول الى حالة التوازن الكيمياوي وينتج عن هذا التفاعل الكلنكر (Clinker).
يحتوي الكلنكر على أربعة مركبات رئيسية مبينة في الجدول أدناه :-

ت	اسم المركب	الرمز الكيمياوي	الرمز
-1	سليكات ثلاثي الكالسيوم	$3CaO\ SiO_2$	C_3S
-2	سليكات ثنائي الكالسيوم	$2CaO\ SiO_2$	C_2S
-3	الومينات ثلاثي الكالسيوم	$3CaO\ Al_2O_3$	C_3A
-4	الومينات حديد رباعي الكالسيوم	$4CaO\ Al_2O_3\ Fe_2O_3$	C_4AF

من الممكن تحديد النسبة المئوية لهذه المركبات الرئيسية الأربعة في الاسمنت البورتلاندي من النسبة المئوية المستحصلة من التحليل الكيمياوي بواسطة معادلة (Bogue) على فرض:-

1- إن التوازن الكيمياوي حاصل عند تفاعل هذه المركبات الرئيسية الأربعة.
2- ظروف تبريد الكلنكر لا تؤثر على توازن الطور أي ان الزجاج لا يتكون في هذه الحالة.
3- نواتج التوازن الكيمياوي هي متبلورة كليا"

$C_3S = 4.07(CaO) – 7.60 (SiO_2) – 6.72 (Al_2O_3) – 1.43 (Fe_2O_3) – 2.85 (SO_3)$

$C_2S = 2.87(SiO_2) – 0.754 (C_3S)$

$C_3A = 2.65 (Al_2O_3) – 1.69 (Fe_2O_3)$

$C_4AF = 3.04 (Fe_2O_3)$

1- سليكات ثلاثي الكالسيوم C_3S

*- تتواجد هذه السليكات بكميات كبيرة في الاسمنت.
*- على شكل حبيبات صغيرة متساوية الأبعاد وعديمة اللون تتحلل ببطء أثناء تبريدها إلى درجة 1250 درجة مئوية وتبقى ثابتة لا تتغير إذا لم يكن التبريد بطيئا" وتبقى مستقرة في درجات الحرارة الاعتيادية .
*- ويحتاج للإماهة الكلية 24% ماء من وزن الاسمنت ويمكن التعبير عن تفاعله مع الماء بالمعادلة التالية:-

$$2\,C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3CH$$
$$61\% \qquad 39\ \%$$

*- وهو المسؤول عن المقاومة المبكرة لعجينة الاسمنت خلال الأربعة أسابيع الأولى والسبب في ذلك ان C_3S يتميه بسرعة اكبر في البداية ويتميه بشكل كامل خلال ال (28) يوم.
*- للحصول على خرسانة عالية المقاومة في وقت مبكر يستعمل الاسمنت الحاوي على نسبة عالية من C_3S .

ثنائي سليكات الكالسيوم C_2S

*- ويشارك في اكتساب المقاومة للاسمنت بعد (28) يوم (لانه يتميه ببطئ خلال الاربع اسابيع الاولى) ولغاية سنة
*- يحتاج للإماهة الكلية 21 % ماء من وزن الاسمنت ويمكن التعبير عن تفاعله مع الماء بالمعادلة التالية:-

$$2C_2S + 4\,H \longrightarrow C_3S_2H_3 + CH$$
$$\%82 \qquad \%18$$

3- ثلاثي الومينات الكالسيوم C_3A

*- يتواجد هذا المركب بكمية قليلة في معظم أنواع الاسمنت مقارنة مع باقي المركبات وذو بلورات منشوريه غامقة اللون وعند تفاعله مع الماء بصورة منفردة يبعث كمية كبيرة من الحرارة مكونا بلورات صناعية سداسية من الومينات الكالسيوم ألمانية.

$$C_3A + 6\,H \longrightarrow C_3AH_6$$

*- هذا النوع من التفاعل يؤدي الى حدوث التجمد الفجائي flash setting ولكن لوجود الجبس الذي يضاف الى الكلنكر قبل عملية طحن الاسمنت حيث يتفاعل الجبس مع C_3A مكونا" سلفو الومينات الكالسيوم الغير ذائبة حول حبيبات أل C_3A فيؤخر تفاعلها مع الماء وبذلك سيتحدد هيكل عجينة الاسمنت بنواتج المركب C_3S حيث تكون مساميته قليلة جدا" مقارنة مع الهيكل المتكون من المركب C_3A .

*- يتفاعل هذا المركب مع أملاح السلفات(الكبريتات) الموجودة بكثرة في الرمال أو في التربة والمياه الجوفية التي تتعرض لها الكتلة الخرسانية مكونا سلفو الومينات الكالسيوم(الاترنجايت) مما يؤدي الى زيادة حجم الكتلة الخرسانية فيسبب تشقق وتلف الكتلة الخرسانية .
*- إن وجود هذا المركب في الاسمنت غير مرغوب فيه حيث أن مشاركته في إعطاء قوة للاسمنت قليلة جدا" وتتحدد في الأيام الأولى فقط بين 1-3 يوم.
*- هذا المركب يعمل كمادة مساعدة للانصهار ويسهل اتحاد الكلس مع السليكا فهو مفيد في عملية تصنيع الاسمنت لانه يقلل من الحرارة اللازمة لتكوين الكلنكر.

4- الومنيات حديد رباعي الكالسيوم C_4AF

يتواجد هذا المركب بكميات صغيرة في تركيب الاسمنت مقارنة مع المركبات الثلاثة الأخرى , وهذا المركب لا يؤثر على عجينة الاسمنت ولكنه يتفاعل مع الجبس ليكون سلفوفرين الكالسيوم الذي يعجل بعملية الاماهة ويعمل كمادة مساعدة على الانصهار.

5- المركبات الثانوية

مثل(Na_2O , K_2O , MgO ,SO_3) والمركبين الأخيرين تدعى بالقلويات ويتراوح وزنها بين 0.4 – 1.3% في الاسمنت البورتلاندي . وبإمكان هذه القلويات أن تتفاعل مع بعض أجزاء السليكا الفعالة الموجودة في الركام ضمن الخرسانة المتصلبة وناتج التفاعل زيادة الحجم للخرسانة مما يؤدي الى تشقق وتلف الخرسانة .
ومن الممكن تقليل تأثير هذا التفاعل بتقليل نسبة القلويات (Na_2O , K_2O) بنسبة لا تزيد عن 0.6 % أو بإضافة مواد من السليكا المسحوقة سحقا" ناعما" حيث تتفاعل مع القلويات قبل تصلب الخرسانة. وتسمى بالقلويات حيث تتفاعل القلويات مع الركام فتسبب تفتت الخرسانة.

6- المواد الغير قابلة للذوبان (I.R) Insoluble residue

هي الجزء من نموذج الاسمنت الغير قابل للذوبان في حامض الهيدروليك HCl وتنشأ من السليكا الغير متفاعلة والشوائب الموجودة في الجبس, وهي مقياس لتلوث الاسمنت وكذلك تعبر عن مدى اكتمال التفاعلات الكيمياوية في داخل الفرن وهذه المواد تأتي من الشوائب الموجودة في الجبس وتحدد المواصفات البريطانية والعراقية نسبتها بـ 1.5% من وزن الاسمنت أما المواصفات الأمريكية فتحدوها بنسبة 0.75 % .

7- الفقدان با لحرق (L.O.I) Loss on ignition

هو مقدار الفقدان في وزن نموذج الاسمنت عند حرقه الى درجة حرارة الاحمرار (1000c) ويعبر عن مقدار الكربنة (Carbonation) وعن عملية الاماهة للجير الحر(CaO) والمغنيسيا الحرة (MgO)الموجودين في الاسمنت بسبب خزن الاسمنت لفترة طويلة أو لتعرضه للظروف الجوية.
إن النسبة المسموح بها للفقدان بالحرق وحسب المواصفات البريطانية والأمريكية هي 3 % , 4 % من وزن الاسمنت على التوالي.
والجدول رقم (1) يوضح الاكاسيد والمركبات الأساسية والثانوية كنسب مئوية للاسمنت النموذجي.

الاوكسيد	النسبة المئوية	المركب الأساسي	النسبة المئوية
اوكسيد الكالسيوم	63	C_3S	54.1
اوكسيد السليكون	20	C_2S	16.6
اوكسيد الألمنيوم	6	C_3A	10.8
اوكسيد الحديد	3	C_4AF	9.1

المركبات الثانوية	
الاوكسيد	النسبة المئوية
Mg O	1.5
SO_3	2
$K_2O.Na_2O$	1
Others	1
Loss On Ignition (L.O.I) الفقدان بالحرق	2
Insoluble Residue (I.R) المواد الغير قابلة للذوبان	0.5

جدول رقم (1) الاكاسيد والمركبات الأساسية والثانوية كنسب مئوية للإسمنت النموذجي

اماهة الاسمنت Hydration of cement

هي سلسلة التفاعلات التي تحصل من عند خلط الاسمنت البورتلاندي مع الماء . والتي بموجبها يكون الاسمنت مادة رابطة .حيث تتحول نواتج عملية الاماهة الى كتلة متينة وصلبة تعرف بعجينة الاسمنت المتصلبة hardened cement paste .

هنالك نوعان من تفاعل مركبات الاسمنت مع الماء .

1- النوع الاول والذي يعتبر التفاعل الحقيقي لعملية الاماهة المباشرة لجزيئات الماء الى الاسمنت.

2- النوع الثاني هو التحلل بالماء (hydration).

إن التحلل بالماء يمكن توضيحه بالمعادلة التالية والتي تتضمن اماهة المركب سيليكات ثلاثي الكالسيوم $3CaOSiO_2$:-

$$3CaO.SiO_2 + H_2O \longrightarrow r\,CaO.y.SiO_2 + Ca(OH)_2$$

↑ جل الاسمنت (C.S.H) (سلكيات الكالسيوم المائية)

↑ هيدروكسيد الكالسيوم

حرارة الاماهة Heated hydration

هي الحرارة المتولدة من تفاعل مركبات الاسمنت مع الماء ففي الحالات الاعتيادية لأنواع الاسمنت البورتلاندي فان حوالي نصف الحرارة الكلية تتولد من 1-3 يوم وحوالي ثلاثة أرباع الحرارة في (7)أيام وتقريبا 90% في ستة أشهر. والحرارة المتولدة تعتمد على التركيب الكيمياوي للإسمنت (جدول رقم 2) وهي مساوية تقريبا الى مجموع حرارة اماهة المركبات الفردية النقية عندما تتميئ نسبتها الوزنية كل على حدة. ومن الممكن تقليل حرارة الاماهة ومعدل سرعتها بتقليل نسبة C_3S , C_3A.

المركب	حرارة الاماهة	
	جول / غم	سعرة / غم
C_3S	502	120
C_2S	260	60
C_3A	867	207
C_4AF	419	100

جدول رقم (2)القيم النموذجية لحرارة اماهة المركبات

تركيب عجينة الاسمنت المتصلبة structure of hardened cement paste

في أي مرحلة من عملية الاماهة فان عجينة الاسمنت المتصلبة تتكون مما يلي :
1- سلكيات الكالسيوم المهدرجة (C-S-H) وتسمى جل الاسمنت .
2- هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$.
3- الاسمنت الغير متميئ (وهذا قد يكون موجود أو غير موجود حسب كمية الماء المستخدمة).
4- الفراغ الغير المملوء المتبقي بين حبيبات الاسمنت (المسامات الشعرية).
5- سلفو الومينات الكالسيوم (ناتجة من تفاعل الجبس مع C_3A).
6- مسامات الجل .

التجمد والتصلب في الأسمنت Setting & Harding of cement

التجمد Setting:-

عند خلط الماء بالاسمنت تتكون عجينة الاسمنت وهذه العجينة تفقد لدونتها تدريجيا" بمرور الزمن حتى تصل الى مرحلة التصلب بحيث تستطيع العجينة أن تتحمل ضغطا" فيقال أنها تجمدت.
والتجمد يحدث على مرحلتين:-

التجمد الابتدائي Initial setting

هو الزمن المحسوب من خلط الاسمنت بالماء ولحين أن تتحمل عجينة الاسمنت ضغطا" معينا "وهذا الزمن لا يقل عن 45 دقيقة حسب المواصفات العراقية رقم (5) لسنة 1984.

التجمد النهائي Final setting

هو الزمن اللازم لتصلب الخرسانة ورفع القوالب عنها وهذا لا يزيد عن 10 ساعات حسب المواصفات العراقية رقم (5) لسنة 1984.

المراحل التي تمر بها عملية التجمد (الابتدائي والنهائي)

المرحلة الأولى:-
تستغرق هذه المرحلة عدة دقائق من خلط الاسمنت بالماء وفيها يكون معدل سرعة توليد الحرارة عالية.

المرحلة الثانية:-
تستغرق هذه المرحلة من (4 -1) ساعة مع هبوط في سرعة توليد الحرارة ويطلق عليها مرحلة السبات حيث تقوم حبيبات الاسمنت ببناء الطبقة الأولية لنواتج التفاعل بصورة بطيئة.

المرحلة الثالثة:-
وفي هذه المرحلة يبدأ التفاعل من جديد وتبدأ الجزيئات بالانحلال وترتفع درجة الحرارة ويصل التفاعل الذروة خلال 6 ساعة.

المرحلة الرابعة:-
وهي مرحلة التصلب واكتساب المقاومة.

يعتمد زمن التجمد على :-
1- التركيب الكيمياوي للاسمنت.
2- نعومة الاسمنت.
3- درجة الحرارة.
4- كمية الماء الداخلة في العجينة.

التجمد الغير حقيقي (False setting)

عبارة عن تجمد غير اعتيادي يحصل قبل أوانه وخلال بضع دقائق من خلط الماء بالاسمنت وتكون الحرارة المتولدة قليلة جدا" ولا يمكن تقديرها كما ويمكن إعادة خلط الخرسانة بدون إضافة ماء.
إن الأسباب التي تؤدي إلى حصول هذا النوع من التجمد هي :-
1- جفاف ماء الجبس المستعمل.
2- الخزن الرديء للاسمنت حيث تتفاعل القلويات الموجودة في الاسمنت معCO_2 مكونة كاربونات القلويات التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من عملية الاماهة مكونة $CaCO_3$ التي تترسب مسببة تجمد عجينة الاسمنت.
3- تنشيط فاعلية C_3S المعرضة للرطوبة حيث تكتسب فعالية وهذه بدورها تتحد مع الماء مسببة التجمد خلال دقائق.

ملاحظة:-
إن الفرق بين التجمد الابتدائي والنهائي وبين التجمد الغير حقيقي (الكاذب) هو أن الحرارة المنبعثة في التجمد الابتدائي والنهائي عالية ولا يمكن إعادة خلط الاسمنت إلا باستخدام الماء أما في التجمد الغير حقيقي فالحرارة تكاد تكون قليلة جدا ويمكن إعادة خلط الخرسانة بدون إضافة ماء.

ثبات الاسمنت Soundness of cement

من الضروري أن لا يحصل تغير حجمي كبير في عجينة الاسمنت بعد تجميدها وخصوصاً التمدد الذي يؤدي إلى تمزيق عجينة الاسمنت عندما تكون في ظروف مقيدة. والاسمنت الذي يبدي تمددا" يعرف بإسمنت غير ثابت الحجم (Unsounded Cement)

أسباب التمدد:-
1- تأخر أو بطئ عملية الاماهة للجير الحر (CaO) والمغنيسيا الحرة (MgO) . فعندما يكون الجير الحرفي المواد الخام اكثر من الذي يتحد مع الاكاسيد الحامضية فان الكمية الفائضة تبقى بحالة حرة وتحترق بشدة داخل الفرن وهذا الجير المحروق يتميأ بصورة بطيئة (عند خلط الماء بالاسمنت) ويشغل حجما" اكبر من الحجم الأصلي لاوكسيد الكالسيوم الحر(CaO) مما يسبب تشقق الخرسانة المتصلبة.
2- وجود كبريتات الكالسيوم المائية (الجبس) التي تضاف إلى الكلنكر قبل عملية طحن الاسمنت لمنع التجمد الفجائي و في حالة وجود الجبس بكمية اكبر من (C_3A) فان الجبس الفائض يتمدد ببطء مسبباً عدم الثبات للإسمنت.

نعومة الاسمنت Fineness of cement

المحاسن:-
1- إن زيادة نعومة الاسمنت يؤدي إلى سرعة عملية الاماهة كذلك زيادة سرعة الحصول على المقاومة المبكرة.
2- زيادة نعومة الاسمنت يسبب زيادة الربط بين الاسمنت والركام(Aggregate) وذلك لتداخل حبيبات الاسمنت بين الفراغات الموجودة داخل الركام.
3- زيادة نعومة الاسمنت تحسن قابلية التشغيل(Workability) للخلطة الخرسانية وتزيد من تماسكها.
4- زيادة نعومة الاسمنت يقلل طبقة الماء التي تنفصل على السطح بسبب النضح(Bleeding) .

المساوئ:-
1- زيادة نعومة الاسمنت تسبب زيادة كلفة طحن الكلنكر.
2- زيادة نعومة الاسمنت يعرض الاسمنت الى اماهة جزئية أثناء الخزن الرديء.
3- زيادة نعومة الاسمنت يؤدي الى زيادة المساحة السطحية للقلويات الموجودة فيه (K_2O , Na_2O) التي تتفاعل مع سليكا الركام وتسبب تلف الخرسانة وتشققها.
4- زيادة نعومة الاسمنت يؤدي الى زيادة في انكماش(Shrinkage) عجينة الاسمنت.
5- زيادة نعومة الاسمنت تسبب زيادة المساحات السطحية للمركب (C_3A) مما يتطلب زيادة الجبس لتأخير تفاعل (C_3A) مع الماء.

أنواع الماء الموجود داخل هيكل عجينة الاسمنت المتميهة

1- الماء المتحد كيميائيا Chemically Combined water
يشكل هذا الماء جزءا من المركبات المتميهة وهو غير قابل للتبخر و يشكل حجمه مقدار 23% من وزن الاسمنت الجاف .

2- ماء الجل Gel water
يوجد هذا الماء بين مسامات الجل و على المساحة السطحية للمواد المتميهة. يشكل حجمه مقدار 28% من الحجم الكلي للجل (الجل الصلب + ماء الجل) وقسم من هذا الماء قابل للتبخر.

$Wg = 0.28 (Vs + Wg)$
$Wg = 0.39 Vs$

3- ماء القنوات الشعرية Capillary water
وهو الماء الموجود داخل المسامات الشعرية (الماء الحر Free Water) أي داخل الجزء الغير مملوء بنواتج الاماهة وهذا الماء قابل للتبخر

حجم نواتج الاماهة

ملاحظة:- كل التفاعلات الجارية يشترط أن لا يكون هنالك فقدان للماء بالنضح والتبخر.

1- حجم نواتج الاماهة الصلبة (Vs) = حجم الإسمنت (Vc)+ حجم الماء المتحد كيميائيا" – 0.254 حجم الماء المتحد كيميائيا"

وحيث أن حجم الماء المتحد كيميائيا" = 0.23 % من وزن الاسمنت (من خلال التجارب)
فيكون:-

$$V_s = V_c + 0.23\,C - 0.254\,(0.23\,C) \ldots\ldots (1)$$

حيث أن:- V_s = حجم نواتج الاسمنت الصلبة
V_c = حجم الاسمنت = $C / 3.15$
C = وزن الاسمنت الجاف
وبما أن مسامات الجل تشغل حوالي 28% من الحجم الكلي للجل (من خلال التجارب)
فيكون:-

2- حجم ماء الجل (W_g) = 28% من الحجم الكلي للجل(الجل الصلب + ماء الجل)

$$W_g = 0.28\,(V_s + W_g)$$
$$W_g = 0.39\,V_s \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

3- حجم الاسمنت ألمتميه V_{hc} = حجم نواتج الاماهة الصلبة Vs + حجم ماء الجل Wg

$$V_{hc} = V_s + W_g \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

4- حجم المسامات الشعرية المملوءة(V_{fc}) = حجم الماء الكلي – (حجم ماء الجل + حجم الماء المتحد كيمياويا")

$$V_{fc} = V_w - (W_g + 0.23\,C) \ldots (4)$$

5- حجم المسامات الشعرية الخالية (V_{ec}) Volume of empty capillary

V_{ec} = مجموع حجم الاسمنت الجاف وحجم الماء – حجم الاسمنت ألمتميه - حجم المسامات الشعرية المملوءة

$$V_{ec} = (V_c + V_w) - (V_s + W_g) - V_{fc} \ldots\ldots (5)$$

حيث أن: V_w = حجم الماء

ومن التجارب وجد ان حجم المسامات الفارغة:-

$$V_{ec} = 0.185\,V_c$$

6- نسبة الجل الى الفراغ (X) Gel / Space ratio

مصطلح يعبر عن نسبة حجم الاسمنت ألمتميه إلى مجموع حجوم الاسمنت ألمتميه والمسامات الشعرية.

$$X = \frac{V_s + W_g}{V_s + W_g + (V_{ec} + V_{fc})} \quad \ldots.(6)$$

ملاحظة 1:- يعتمد ظهور المسامات الشعرية والاسمنت الغير متميه على كمية الماء المستخدمة.
ملاحظة 2:- إذا كانت نسبة الماء الى الاسمنت في الخليط (مع السماح للنضح) اقل من حوالي 0.38 بالوزن فان إكمال عملية الاماهة غير ممكن لان الحجم المتوفر للماء غير كاف ليتسع لكل نواتج الاماهة.

مثال رقم (1)
جد حجوم نواتج الاماهة لتفاعل 100 g من الاسمنت مع 42 g من الماء . علما أن التفاعل يتم في وعاء مغلق.
الحل:-

1- نجد نسبة الماء الى الاسمنت: $w/c = 42/100 = 0.42$
إذن الماء كافي للإماهة الكلية.

2- حجم نواتج الأماهة الصلبة

$$V_s = V_c + 0.23C - 0.254 * 0.23\ C$$
$$V_s = 100/3.15 + 0.23 * 100 - 0.254 * 0.23 * 100 = 48.9\ ml$$

3- حجم ماء الجل

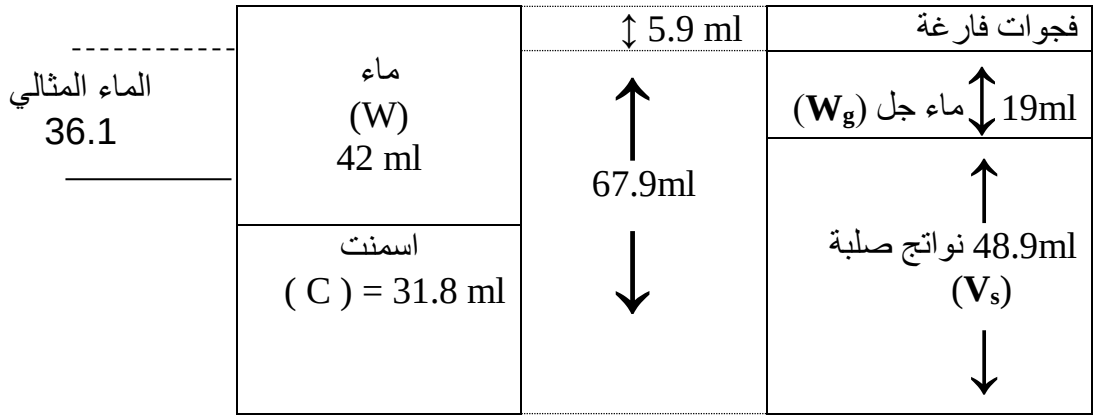
$$W_g = 0.28\ (V_s + W_g)$$
$$W_g = 0.28\ (48.9 + W_g)$$
$$W_g = 19\ ml$$

4- حجم الاسمنت ألمتميه $V_{hc} = V_s + W_g = 48.9 + 19 = 67.9\ ml$

5- حجم المسامات المملوءة $V_{fc} = V_w - (0.23\ C + W_g)$
$= 42 - (0.23 * 100 + 19) = 0$

6- حجم المسامات الشعرية الخالية $V_{ec} = (V_c + V_w) - (V_s + W_g) - V_{fc}$
$V_{ec} = (31.8 + 42) - (48.9 + 19) - 0 = 5.9\ ml$

او $V_{ec} = 0.185 * 31.8 = 5.9\ ml$



مثال رقم (2)

جد حجوم نواتج الاماهة لتفاعل 100g من الاسمنت مع 30g من الماء . علما أن التفاعل يجري في وعاء مغلق .

w/c = 30//100 = 0.3

إذن الماء غير كافي للإماهة الكلية .

$\mathbf{V_s}$ = C/3.15 + 0.23 C – 0.254 * 0.23 C

$\mathbf{V_s}$ = 0.489 C

$\mathbf{W_g}$ = 0.28 (0.489 C+ $\mathbf{W_g}$) …….. Eq 1

الماء الكلي = الماء الغير قابل للتبخر + ماء الجل

Wt = 0.23 C + $\mathbf{W_g}$ …… Eq 2

حل المعادلتين آنياً

C = 71.5 g

$\mathbf{V_c}$ = C/3.15 = 71.5 / 3.15 = 22.7 ml

$\mathbf{V_s}$ = 0.489 * 71.5 = 34.96 ml

$\mathbf{W_g}$ = 0.39 $\mathbf{V_s}$ = 0.39 * 34.96 = 13.6 ml

حجم الاسمنت ألمتميه $\mathbf{V_{hc}}$ = حجم نواتج الاماهة الصلبة + حجم ماء الجل

$\mathbf{V_{hc}}$ = $\mathbf{V_s}$ + $\mathbf{W_g}$

$\mathbf{V_{hc}}$ = 34.96 + 13.6 = 48.56 ml

حجم الاسمنت غير ألمتميه = 22.7 – 3,15 / 100

= 9,1ml

حجم المسامات الفارغة (تكون فارغة بالتأكيد لان الماء غير كافي للإماهة الكلية)

$\mathbf{V_{ec} = (V_c + V_w) - (V_s + W_g) - 9.1}$

= (31.8 +30) – (34.96 + 13.6) – 9.1

= 4.2 ml

مثال رقم (3)
جد حجوم نواتج الاماهة لنسبة اماهة 50% لتفاعل 126 g اسمنت ونسبة ماء إلى اسمنت wc = 0.475 علما" أن التفاعل يجري في إناء مغلق .

w/c = 0.475
إذن الماء كافي للإماهة الكلية
$V_w = 0.475 * 126 = 60$ ml
$\mathbf{V_c} = 126 / 3.15 = 40$
$\mathbf{V_s} = (126/3.15 + 0.23 * 126 – 0.254 * 0.23 * 126) * 0.5$
$\mathbf{V_s} = 30.8$ ml
$\mathbf{W_g} = 0.28 (30.8 + \mathbf{W_g})$
$\mathbf{W_g} = 12$ ml

حجم الاسمنت ألمتميه = 30.8 + 12 = 42.8 ml
حجم الاسمنت الغير متميه V_{uc} = 126/3.15 * 0.5 = 20 ml (لان الاماهة 50%)
حجم المسامات المملوءة($\mathbf{V_{fc}}$) = حجم الماء الكلي – (حجم ماء الجل + حجم الماء المتحد كيمياويا")

33.5 = 60 – (12 + 0.23 * 126 * 0.5)

ماء **(W) = 30 ml**	**4.2 ml**	**فجوات**
	9.1 ml	**اسمنت غير متميه**
أسمنت (C) = 31.8 ml	**48.5 ml**	**ماء جل (W_g)**
		نواتج صلبة (V_s)

V_{fc} =0.5)

حجم المسامات الشعرية الخالية $\mathbf{V_{ec}}$

$\mathbf{V_{ec}} = (\mathbf{V_c} + V_w) – (\mathbf{V_s} + \mathbf{W_g}) – V_{uc} - \mathbf{V_{fc}}$

$= (40 + 60) – (30.8 +12) – 20 - 33.5 = 3.7$ ml

أو :-
حجم المسامات الشعرية الفارغة ($\mathbf{V_{ec}}$)

$\mathbf{V_{ec}} = 0.185\ \mathbf{V_c} = 0.185 * 0.5 * 40 = 3.7$ ml

	↕3.7 ml	فجوات خالية V_{ec}
	↕33.5 ml	فجوات مملوءة V_{fc}
ماء (W) = 60 ml	↑ 20 ml ↓	اسمنت غير متميه V_{uc}
	↑	ماء جل (W_g)
اسمنت (C) = 40 ml	42.8 ml ↓	نواتج صلبة (V_s)

قبل التفاعل
0% Hydratio

بعد التفاعل
50% Hydration

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:-

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- فحص القوام القياسي Standard Consistence Test

الغرض من الفحص Purpose

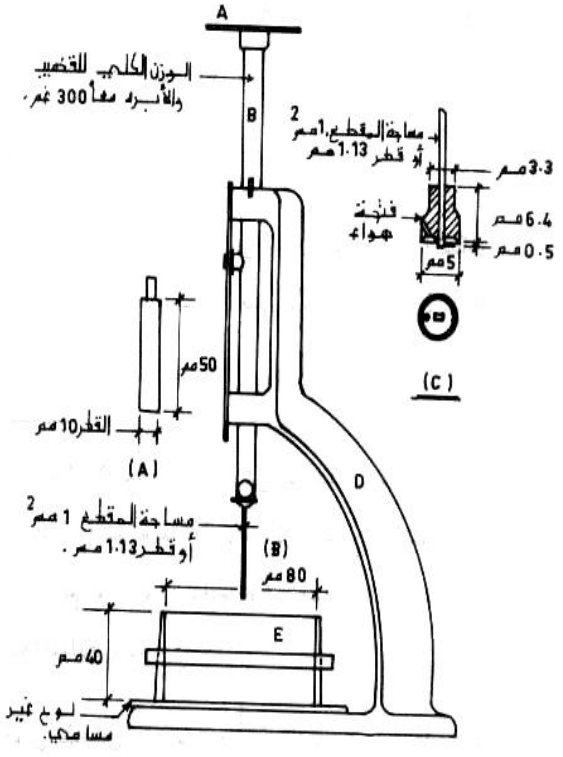
ان الغرض من اجراء هذا الفحص لإيجاد كمية الماء اللازمة لإنتاج عجينة الاسمنت ذات القوام القياسي والتي تستعمل لتعيين زمن التجمد الابتدائي والنهائي وفحص الثبات (Soundness) لعجينة الاسمنت.
إن كمية الماء اللازمة لتحضير عجينة الاسمنت ذات القوام القياسي هي الكمية التي تسمح للطرف الاسطواني قطره (10) ملم لجهاز 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 الفحص:- Test Method

الطريقة المتبعة في هذا الفحص 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 الفحص باستعمال جهاز فيكات ويشمل هذا الفحص 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 الفحص Purpose

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 الفحص مبنية على المواصفات البريطانية (B.S.12:part 2:1971).

1- يتم عمل عجينة اسمنت ذات قوام قياسي وحسب خطوات العمل في فحص 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°

تحديدات المواصفات

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.

فحص الثبات Soundness

يتم فحص 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 الفحص PURPOSE

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 الفحص Test Method

الطريقة المتبعة في هذا الفحص 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) مº ويترك لمدة (24 ساعة).
5- يرفع القالب من الماء وتقاس المسافة بين طرفي مؤشري القالب.
6- يغمر القالب ثانية في ماء درجة حرارته (19مº) 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.

فحص مقاومة الاسمنت Strength Of Cement Test

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

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

فحص مقاومة الانضغاط Compressive Strength Test

الغرض من الفحص Purpose

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 الفحص:- Test Method

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

لفحص 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 الفحص.

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 الثانـي

أنـــواع الإسمنت
Types of Cement

أنواع الإسمنت Types of Cement

تعتمد خواص الإسمنت إثناء عملية الاماهة على:

أ – تركيبه الكيمياوي أي نسب المواد الأولية الداخلة في صناعته.
ب – درجة نعومة الاسمنت.

لذلك وبالنظر للاحتياجات المختلفة فقد وجدت أنواع متعددة من الاسمنت كل منها بصفة خاصة وهذه الأنواع:-

1- الإسمنت البورتلاندي. Portland cement
2- الإسمنت التمددي. Expansive cement
3- الإسمنت الالومينـي. Aluminous cement

الإسمنت البورتلاندي. Portland cement

1- الإسمنت البورتلاندي الاعتيادي:(O.P.C) Type1

* يدعى هذا النوع من الإسمنت حسب النظام الأمريكي ب (Type1) .
* يستعمل بصورة واسعة في معظم المنشئات الخرسانة الغير معرضة لأملاح الكبريتات في التربة أو المياه الجوفية.
* معامل الاشباع الجيري(Lime Saturation Factor) يحدد بمقدار (1.02) كحد أعلى و(0.66) كحد أدنى.
* إن أهمية تحديد الحد الأعلى لمعامل الإشباع الجيري (L.S.F) للتأكد بان كمية الجير في المواد الأولية المستعملة في صناعة الاسمنت ليست عالية بحيث تسبب ظهور جير حر(CaO) بعد حصول التوازن الكيميائي وهذا الجير يسبب عدم ثبات حجم الاسمنت.(Unsoundness of cement)

2- الإسمنت البورتلاندي سريع التصلب Rapid harding Portland cement

* يدعى هذا النوع من الاسمنت حسب النظام الأمريكي ب(Type 111).
* يشبه الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي إلا انه يطور المقاومة بصورة أسرع من الاسمنت الاعتيادي .
* زمن التجمد (Setting time) لهذا الاسمنت مماثل الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي (O.P.C).
* مقاومته بعمر (3) أيام تعادل مقاومة (O.P.C) بعمر (7) أيام عند استعمال نفس نسبة الماء إلى الاسمنت (W/C).
* يستعمل هذا النوع من الاسمنت عندما يراد الحصول على مقاومة عالية مبكرة. وذلك عندما يراد رفع القوالب الخشبية مبكراً. وفي الأبنية الجاهزة لغرض رفعها بصورة سريعة وكذلك في عمل الأرصفة في الطرق التي لا يمكن غلقها لمدة طويلة.
* معدل سرعة انبعاث الحرارة لهذا النوع يكون أعلى من الاسمنت الاعتيادي (O.P.C) لذلك لا يفضل استخدامه في الكتل الخرسانية الضخمة لان الحرارة العالية تسبب تشقق وتلف الخرسانة . ويستعمل في المناطق الباردة لمنع تجمد الماء داخل المسامات الشعرية ومن انواع الإسمنت البورتلاندي السريع التصلب:-

أ- الإسمنت البورتلاندي السريع التصلب الممتاز Extra rapid harding P.C

* ويحضر هذا النوع من طحن كلوريد الكالسيوم (CaCl2) مع الاسمنت سريع التصلب ويجب ان لا تزيد نسبة الكلوريد عن (2%) من وزن الاسمنت السريع التصلب حيث يزيد كلوريد الكالسيوم سرعة عملية التجمد والتصلب.

* بالنظر لسرعة التجمد والتصلب في هذا النوع من الاسمنت يجب صبه ورصه خلال (20) دقيقة من عملية الخلط , وان لا يخزن هذا الاسمنت في مكان رطب لمنع تلفه .
*الحرارة المنبعثة لهذا النوع من الاسمنت أعلى من الاسمنت السريع التصلب لذلك يستعمل في الأجواء الباردة.

ب- الإسمنت ذو المقاومة المبكرة العالية والفوق اعتيادية.

* التطور السريع في المقاومة لهذا الاسمنت ناتجة عن النعومة العالية له والتي تتراوح بين (700-900) م2/ كغم.
*يمكن الحصول بعد (24) ساعة على مقاومة بمقدار(6) أيام بالنسبة للاسمنت السريع التصلب.
*يستعمل هذا النوع من الاسمنت في الخرسانة المسبقة الجهد.

3- الإسمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة Low heat P.C

* يستعمل هذا النوع في الكتل الخرسانية الضخمة مثل السدود , لمنع التشققات والتلف في الخرسانة بسبب حرارة الاماهة العالية.
*يحتوي على نسبة اقل من (C_3S) و(C_3A) وعلى نسبة أعلى من (C_2S) مقارنة مع الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي.
*مقاومة هذا النوع من الاسمنت في الأوقات المبكرة قليلة وبمعدل (½) مقاومة الخرسانة المصنوعة من الاسمنت الاعتيادي (O.P.C) بعمر (7) أيام , و(¾) بعمر(28) يوم ومساوية لها بعد (3) أشهر.

4- الإسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات. Sulphate Resisting P.C

* يدعى هذا النوع من الاسمنت حسب النظام الأمريكي ب(Type V).
* يشبه الاسمنت الاعتيادي (O.P.C) لكنه يحتوي على نسبة اقل من الومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A) لان هذا المركب يتأثر بالكبريتات بصورة اكبر من بقية المركبات في الاسمنت .
* يستعمل هذا النوع في الأماكن التي تتواجد فيها أملاح الكبريتات كالتربة والمياه الجوفية.

5- الاسمنت البورتلاندي خبث الأفران العالية Portland blast Furnace Slag Cement

* يصنع هذا النوع من الاسمنت من طحن الفضلات الصناعية للحديد مع الكلنكر للإسمنت البورتلاندي الاعتيادي.
* يتكون من نفس مكونات الاسمنت البورتلاندي ولكن بنسب مختلفة.
* تحدد المواصفات البريطانية لنسبة الخبث بمقدار 65% كحد أعلى, أما المواصفات الأمريكية فتشترط بان تتراوح نسبته بين 25-65%.
* من الممكن طحن حبيبات الخبث بنفس نعومة الاسمنت واستخدامها للتعويض عن جزء من الاسمنت المستخدم.
* يشابه هذا الاسمنت إلى حد ما الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي من حيث النعومة وزمن التجمد والثبات ولكن سرعة التصلب تكون اقل خلال ال 28 يوم الأولى. وكذلك فان حرارة الاماهة تكون اقل مما في الاسمنت الاعتيادي لذلك يمكن استعماله في الكتل الخرسانية الضخمة.
* ذو مقاومة عالية لذلك يمكن استخدامه في المنشآت المعرضة لماء البحر.

6- الاسمنت البورتلاندي الأبيض White Portland Cement

*يصنع هذا النوع بنفس طريقة الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي ولكن بنسب قليلة جدا" من اوكسيد الحديد والمنغنيز والتي يرجع إليها اللون الرمادي.

* كلفة طحن هذا النوع من الاسمنت تكون غالية لذلك تعادل كلفته ضعف كلفة الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي.
* تتقارب الخواص الكيماوية للإسمنت الأبيض مع الاسمنت الاعتيادي إلا أن نسبة C_4AF والوزن النوعي (3.10-3.05) تكون اقل نظرا" لقلة نسبة الحديد.

7- الاسمنت البورتلاندي الملون Coloured Portland Cement

* يحضر هذا النوع من الاسمنت من إضافة أنواع معينة من الأصباغ إلى الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي وبنسبة (2-10) %.

8- الاسمنت البورتلاندي البوزلاني Portland – Pozzolana Cement

* يدعى هذا النوع من الاسمنت حسب النظام الأمريكي ب(Type - IP).
* يصنع هذا النوع من خلط البوزولانا مع الاسمنت البورتلاندي, والبوزولانا عبارة عن مواد سلكية أو سليكية والومينية لا تملك خواص رابطة لوحدها ولكن عندما تطحن ناعما" وبوجود الماء تتفاعل كيمياويا" مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)$ لتكوين مواد ذات خواص إسمنتية حيث تكون سليكات الكالسيوم المستقرة(جل الاسمنت C-S-H).
* يستعمل هذا النوع من الاسمنت في صب الكتل الخرسانية الضخمة نظرا" لقلة الحرارة المنبعثة في عملية الاماهة لهذا الاسمنت .
* تحدد المواصفات الأمريكية محتوى البوزولانا بين 15- 40 % من وزن الاسمنت.

9- أنواع خاصة من الاسمنت البورتلاندي

أ- الاسمنت البورتلاندي المقاوم للبكتريا

* يصنع هذا النوع من الاسمنت من طحن الاسمنت البورتلاندي مع عامل مقاوم للبكتريا.
* يستعمل في أحواض السباحة وفي أرضيات وجدران مصانع الأغذية والألبان.

ب- الاسمنت البورتلاندي الغير مألوف للماء.

* يصنع هذا النوع من الاسمنت من طحن مواد معينة(حامض الاوليك) مع الاسمنت أثناء صناعته فتشكل طبقة رقيقة صادة للماء حول حبيبات الاسمنت.

ج- الاسمنت البورتلاندي المانع لنفاذ الماء.

* يصنع هذا النوع من الاسمنت من طحن مواد معينة(استيارات الكالسيوم) مع الاسمنت أثناء صناعته فتعطي هذه المواد خاصية عدم نفاذ السوائل للاسمنت.

10- الإسمنت التمددي Expanding cement

* يدعى هذا النوع من الاسمنت حسب النظام الأمريكي ب(Type – k).
* يصنع هذا النوع من الاسمنت من خليط من الاسمنت البورتلاندي وعامل تمددي (Expanding agent) ومادة مثبتة.

11- الإسمنت الألومينى Aluminous cement

* يحتوي هذا النوع من الاسمنت على نسبة عالية من الالومينا وتحدد المواصفات البريطانية هذه النسبة بمقدار 32%.
* ذو مقاومة عالية لأملاح الكبريتات وهذه المقاومة ناتجة عن عدم وجود هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ في نواتج عملية الاماهة.
* يستعمل في صناعة الأنابيب لأنه لا يهاجم من قبل غاز CO_2.
* يحصل على 80% من مقاومته النهائية (Ultimate strength) بعمر 24 ساعة في حين يحصل الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي على معظم مقاومته بعمر 28 يوم.
* درجة الحرارة المنبعثة في عملية الاماهة عالية لذلك لا يستخدم هذا النوع من الاسمنت في صب الكتل الكونكريتية الضخمة.

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.

تصنيف الركام Classification of aggregate

يمكن تصنيف الركام تبعا" للمقاس (Size) والشكل (Shape) والمنشأ (Origin) ومحتوى الرطوبة (Moisture content)).

1- تصنيف الركام بالنسبة للمقاس Size classification

يصنف الركام بالنسبة للمقاس الى:-
أ- الركام الخشن (Coarse aggregate) أو الحصى (Gravel) ومعظم هذه الحبيبات تحتجز على منخل مقاسmm (5.0) وهذا الركام يكون إما حصى غير مكسر أو حصى مكسر أو حصى مكسر جزئيا".

ب- الركام الناعم (Fine aggregate) أو الرمل (Sand) ومعظم هذه الحبيبات تمر من منخل مقاسmm (5.0) وهذا الركام إما أن يكون رمل طبيعي أو رمل الحجر المكسر أو رمل الحصى المكسر.

ج- الركام الشامل (All- in aggregate) وهو خليط من الركام الخشن والركام الناعم.

2- تصنيف الركام بالنسبة للمنشأ original classification

يصنف الركام بالنسبة إلى منشأه إلى :-

أ- الركام الطبيعي (Natural aggregate)
وينشأ هذا الركام من الكتل الصخرية الكبيرة بصورة طبيعية بفعل العمليات الجوية والتآكل وهذه الصخور إما أن تكون :-
*- صخور نارية أو بركانية (Igneous rocks) مثل الكرانيت (Granite) والبازالت(Basalt).
*- صخور رسوبية (Sedimentary rock) مثل الصخور الكلسية (Limestone) والصخور الرملية (Sandstone).
*- الصخور المتحولة (Metamorphic rock) مثل الرخام(Marble) والكوارتزيت (Quartzite).

ب- الركام الصناعي (Artificial aggregate).

ينتج هذا الركام وفق عمليات معينة كالمعالجة الحرارية كالركام الخفيف (Lightweight aggregate) او كناتج عرضي لبعض الصناعات كركام خبث الأفران العالية.

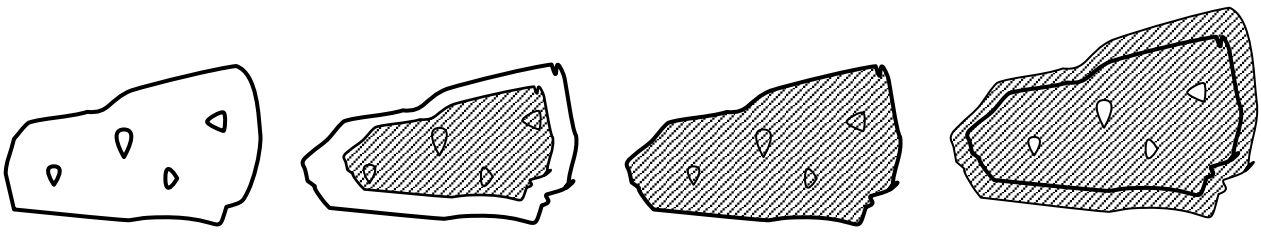
3- تصنيف الركام بالنسبة لمحتوى الرطوبة Moisture content classification

يمكن تصنيف الركام نسبة إلى محتواه المائي إلى:-
*- ركام جاف كليا" (Fully dry aggregate) ويمكن الحصول على هذا الركام بتجفيفه بالفرن بدرجة 100-110 م فتصبح المسامات الخارجية والداخلية فارغة من الماء.

* ركام جاف بالهواء (Air dry aggregate) يكون سطح حبيبات الركام وبعض المسامات الداخلية القريبة من السطح جاف والداخل رطب أي أن الركام غير مشبع بالماء.

*- ركام مشبع وجاف السطح (Saturated surface dry aggregate)
يكون سطح حبيبات الركام جاف وتكون كل مسامات حبيباته مملوءة بالماء.

*- ركام رطب (Wet aggregate) يكون سطح حبيبات الركام وكل المسامات الداخلية مملوءة بالماء.



ركام رطب **ركام مشبع جاف السطح** **ركام جاف بالهواء** **ركام جاف**

4- تصنيف الركام بالنسبة للشكل Shape classification

يمكن تصنيف الركام نسبة إلى شكل حبيباته إلى:-

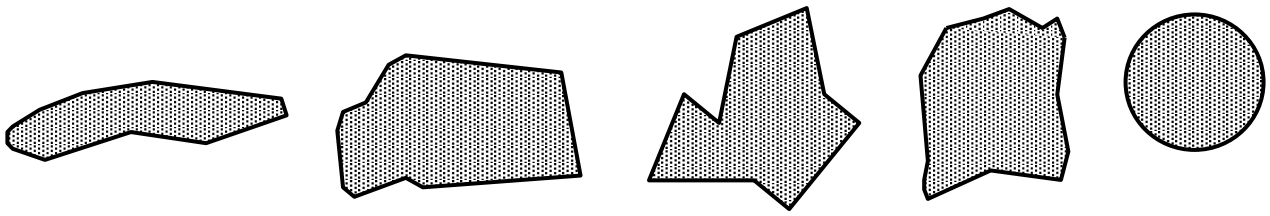
أ- الحبيبات المستديرة أو المكورة وهي:-
*- مستدير (Rounded).
*- غير منتظم (Irregular).
*- رقائقي (Flaky).
*- زاوي (Angular).
*- مستطال (Elongated).
*- رقائقي ومستطال (Flaky & Elongated).

ب- الحبيبات الكروية (Spherical).

معامل الترقق Flakiness Index
هو النسبة المئوية لوزن الحبيبات الرقائقية من الوزن الكلي للنموذج.

معامل الاستطالة Elongation Index
هو النسبة المئوية لوزن الحبيبات المستطالة من الوزن الكلي للنموذج.

ملاحظة:- إن الحبيبات التي تكون نسبة مساحتها السطحية إلى حجمها عالية (مثل الحبيبات الرقائقية والمستطيلة) تقلل من قابلية تشغيل الخلطة الخرسانية (Workability) ومتانتها لان هذه الحبيبات تميل للتوجه في مستوي واحد مع تشكيل ماء وفجوات هوائية تحتها ويجب أن لا تزيد نسبتها عن 10-15 % من وزن الركام الخشن.



كيفية أخذ عينات الركام (Sampling of aggregate)

عند اخذ عينة من الركام للفحص 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	
	(انج)	(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:-
1- التقسيم الربعي (اليدوي) Quartering
2- لتقسيم النصفي (الآلي) Riffing

تلاصق حبيبات الركام

*- يعتبر التلاصق بين الركام وعجينة الاسمنت من أهم الخواص التي تحدد جودة الخرسانة , وهذه الخاصية تعتمد جزئيا" على التداخل (Interlocking) بين الركام وعجينة الاسمنت نتيجة لخشونة سطح الركام, وكلما كانت خشونة السطح اكبر كما في الحبيبات المكسرة كلما كان التلاصق أفضل.
*- من الممكن الحصول على تلاصق جيد باستعمال حبيبات ملساء ولكن مسامية أو غير متجانسة معدنيا". وكذلك فان خاصية التلاصق تتأثر ببعض الخواص الفيزيائية والكيمياوية للركام .
*- إن التلاصق بين حبيبات الركام وعجينة الاسمنت يعتمد على مقاومة عجينة الاسمنت إضافة إلى خواص سطوح حبيبات الركام .
*- إن مقاومة التلاصق تزداد بزيادة عمر الخرسانة .

الوزن النوعي (الكثافة النسبية) للركام Specific Gravity of Aggregate

يحتوي الركام على مسامات غير منفذة(كتيمة) (Impermeable pores) وأخرى منفذة (Permeable) لذا فان الحجم الفعلي للركام يكون اقل من الحجم الظاهري , ومن الممكن تقسيم الوزن النوعي تبعا" لطريقة تعينه إلى :-

1- الوزن النوعي المطلق:- Absolute Specific Gravity
هو نسبة وزن حجم معين من الركام (باستثناء المسامات المنفذة والغير منفذة) إلى وزن حجم مساو من الماء المقطر الخالي من الغازات .ولإيجاد هذا النوع من الوزن النوعي يجب سحق المادة سحقا" كاملا لإزالة تأثير المسامات الكتيمة أي الغير منفذة وتعيين هذا النوع من الوزن ليس بأهمية في الأعمال الخرسانية لان الركام لا يستعمل بشكل مسحوق.

2- الوزن النوعي الكلي: Bulk Specific Gravity
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.

3- الوزن النوعي الظاهري Apparent Specific Gravity
هو نسبة وزن حجم معين من الركام (ويشمل ذلك المسامات الغير منفذة 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.

ملاحظة :-
تستند حسابات الخرسانة على ركام بحالة مشبعة بالماء وسطحه جاف (Saturated Surface-dry) لان الماء الموجود في جميع مسامات الركام لا يشارك في التفاعلات الكيمياوية للإسمنت ولذلك يمكن اعتباره جزءا" من الركام.

يستعمل الوزن النوعي الظاهري في حساب كميات الركام اللازمة لحجم معين من الخرسانة.
يعتمد الوزن النوعي الظاهري على الوزن النوعي للمعادن التي يتألف منها وعلى نسبة المسامات.
الوزن النوعي الظاهري لمعظم أنواع الركام يتراوح بين(2.6 – 2.7).

الكثافة الكلية Bulk Density

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.
يمكن حساب الكثافة الكلية من العلاقة أدناه:-

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

حيث D = الكثافة (كغم / م3)
M = الكتلة (كغم)
V = الحجم (م3)

ويمكن حساب النسبة المئوية للفجوات من العلاقة التالية:-

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

حيث a = الوزن النوعي الظاهري للركام المجفف بالفرن (كغم / م3).
b = الكثافة الكلية للركام المجفف بالفرن (كغم / م3) مرصوص أو غير مرصوص.

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

المسامية والامتصاص للركام Porosity and Absorption of Aggregate

*- إن مسامية الركام (Porosity) ونفاذيته (Permeability) وامتصاصه تؤثر على خواص الركام لان الركام يشغل حوالي 3/4 الخرسانة الكلية ومنها:-

1- التلاصق بينه وبين الاسمنت.
2- مقاومة الخرسانة للانجماد والذوبان (freeze / thaw) .
3- بالإضافة إلى توازنه الكيمياوي ومقاومته للتآكل(البري) .

محتوى الرطوبة في الركام Moisture Content of Aggregate

هو النسبة المئوية للرطوبة السطحية من وزن الركام المشبع وجاف السطح.
الفرق بين الامتصاص ومحتوى الرطوبة هو أن الامتصاص يمثل محتوى الماء في ركام بحالة مشبعة وجاف السطح أما محتوى الرطوبة فهو الماء الفائض عن تلك الحالة(مشبعة وجاف السطح) وبذلك يكون محتوى الماء الكلي للركام الرطب مساويا" إلى مجموع الامتصاص ومحتوى الرطوبة.

إن حجم المشغول من قبل الركام في الخرسانة الطرية هو حجم حبيباته بضمنها المسامات الكتيمة (غير منفذة) والمنفذة ولمنع انتقال الماء إلى الركام عن طريق مساماته لذلك يجب أن يكون الركام بحالة مشبعة , أما إذا كان سطحه رطب فان الماء الموجود على السطح سيضاف إلى ماء الخليط الأصلي ويشغل حجما" إضافيا" إلى جانب حجم حبيبات الركام لذلك يجب أن تكون حالة الركام مشبعا" وجاف السطح عند حساب نسبة الماء إلى الاسمنت.

الخواص الميكانيكية للركام Mechanical Properties of Aggregate

1- الصلابة Toughness

وهي مقاومة الركام للتهشم تحت تأثير الصدمات (Impact) والرجات المفاجئة.
من الممكن اختبار صلابة الركام عن طريق تعيين قيمة مقاومة التصادم (Impact value).

2- الصلادة Hardness أو المقاومة للتآكل

وهي من الخواص المهمة للخرسانة في الطرق وفي سطوح الأرضيات المعرضة لمرور وسائل النقل الثقيلة.
من الممكن تعيين صلادة الركام بإجراء اختبار البري (Abrasion test) وقيمة البري هذه يمكن تعريفها بأنها النسبة المئوية للفقدان بالوزن نتيجة البري .
من الممكن تعيين صلادة الركام بإجراء اختبار التآكل بالاحتكاك (Abrasion test).

3- المقاومة Strength

*- تعتبر مقاومة الركام أعلى من معدل مقاومة الخرسانة.
*- الركام ذو المقاومة المعتدلة أو الواطئة يساعد على حفظ الخرسانة من التجزئة.
*- إذا كان الركام صلبا" وقويا" فان ذلك يؤدي إلى تشقق مونة الاسمنت المحيطة بالركام.
*لتحديد مقاومة الركام يجرى فحص السحق (Crushing value test) وكلما كانت القيمة عالية فان الركام يعتبر ضعيفا" وبالعكس.

4- الترابط Bonding

* تزداد قوة الترابط والتلاصق بين الركام وعجينة الاسمنت كلما كان الركام خشنا".
* كلما زادت المساحة السطحية لحبيبات الزاوية في الركام كلما زادت قوة الترابط.

تضخم الرمل Bulking of Sand

*- هو الزيادة الحاصلة في حجم وزن معين من الرمل نتيجة لوجود طبقة رقيقة من الماء على سطوح حبيباته مما يجعلها تبتعد أو تندفع عن بعضها البعض نتيجة للشد السطحي.
*- إن التضخم لا يؤثر بدرجة كبيرة على الكميات المحددة بالوزن ولكنه يسبب نقصان في وزن الرمل عند تحديد كميات الخليط بالحجم ولذلك فان الخليط سيعاني من نقص في كمية الرمل مما يؤدي إلى انعزال مكونات الخلطة الخرسانية عن بعضها ويمكن علاج هذه الظاهرة بزيادة الحجم الظاهري للرمل بمقدار مساوي إلى تضخمه.
يعتمد المقدار الحقيقي لتضخم الرمل على:-

1- النسبة المئوية للرطوبة الموجودة فيه.
2- نعومة الرمل.

*- إن الرمل الناعم يتضخم أكثر من الرمل الخشن لزيادة المساحة السطحية للرمل الناعم.

المواد الضارة في الركام Deleterious Substances in Aggregate

تصنف المواد الضارة في الركام إلى ثلاثة مجاميع:-

1- الشوائب العضوية Organic Impurities

وهذه الشوائب قد تكون متواجدة في الركام وتؤثر على التفاعلات الكيمياوية لعملية الاماهة .
تنتج هذه الشوائب من انحلال أو تعفن المواد النباتية مثل حامض التنيك فتظهر على شكل مواد عضوية منحلة او تربة رملية طينية عضوية. وهذه غالبا" ما تكون موجودة في الركام الناعم ويندر وجودها في الركام الخشن والذي يمكن غسله بسهولة.

2- الكتل الضعيفة القابلة للتفتت أو الغير ثابتة في الركام الخشن.

مثل الكتل الطينية والخشبية والفحمية وهذه المواد تكون عرضة للنقر والتقشر وإذا وجدت بكميات كبيرة فإنها تقلل مقاومة الخرسانة وتضعف متانة الخرسانة تحت تأثير الظروف الخارجية المحيطة بها.

3- الطين والمواد الناعمة الأخرى.

وهذه تتواجد بشكل حبيبات ترابية سائبة غير مرتبطة بسطوح حبيبات الركام مثل حبيبات الطين(مقاس حبيباته اقل من 0.002 مم) والغرين (مقاس حبيباته يتراوح بين 0.002 – 0.06 مم)وغبار الكسارات خلال عملية تحويل الصخور إلى الحجر المكسر أو الحصى أو الرمل وهذه يمكن إزالتها بواسطة الغسل في مصانع الإعداد .
وجميع هذه المواد الناعمة تقلل قوة التلاصق بين الركام وعجينة الاسمنت.

التفاعل القلوي للركام Alkali – Aggregate Reaction

يوجد نوعان من التفاعل القلوي للركام هما التفاعل القلوي مع السليكا و التفاعل القلوي مع الكاربونات والنوع الأول أكثر إنتشاراً. ومشكلة التفاعل القلوي للركام أنه قد لا يظهر إلا بعد زمن طويل ، كما أنه لا يوجد حتى الآن إختبار سريع ودقيق يمكن من خلاله معرفة إذا كان خلط ركام معين مع أسمنت معين بنسبة معينة سيؤدى إلى ظهور هذه المشكلة أم لا ، ونفس الوقت لا توجد طريقة محددة للعلاج الدائم لهذه الظاهرة.

1- التفاعل القلوي مع السليكا Alkali - Silica Reaction

وهو التفاعل الذي يحصل بين القلويات (K_2O , Na_2O) الموجودة في الاسمنت مع السليكا الفعالة الموجودة في الركام . حيث تتفاعل هذه القلويات مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من الاماهة مكونة هيدروكسيد القلويات(هيدروكسيد البوتاسيوم أو الصوديوم) وهذه الهيدروكسيدات تهاجم السليكا الفعالة في الركام مكونة جل من السليكا القلوية التي تتميز بانتفاخها مسببة زيادة في الحجم وتمدد وتشقق عجينة الاسمنت.

التفاعل القلوي يعتمد على :-

1- مقاس حبيبات الركام ومساميتها وهذه تحدد المساحة التي يمكن أن يحصل عليها التفاعل.
2- محتوى القلويات في الاسمنت حيث يزداد التفاعل كلما زاد محتوى القلويات.
3- نعومة الاسمنت فكلما زادت النعومة زاد التفاعل .
4- كمية الماء الغير قابل للتبخر في عجينة الاسمنت ونفاذية عجينة الاسمنت.
5- درجة الحرارة إذا كانت بين 10 –38م° فإنها تسرع التفاعل.

وللحد من خطر التفاعل القلوي مع السليكا يمكن إتباع ما يلى:-

١- إستعمال أسمنت بورتلاندي يحتوى على نسبة منخفضة من القلويات لا تزيد عن 0.6 % .
2- إضافة مواد من السليكا المسحوقة سحقا" ناعما" حيث تتفاعل مع القلويات قبل تصلب الخرسانة.
3- العمل على تقليل نفاذ الماء إلى الخرسانة باستخدام أغشية أو دهانات غير منفذة للماء.

2- التفاعل القلوي مع الكاربونات Alkali - Carbonate Reaction

قد تتفاعل بعض أنواع الركام من الحجر الجيري الدولوميتي (Dolomitic limestone) مع القلويات في الإسمنت منتجة مركبات تؤدى -مع مرور الوقت- إلى حدوث تمدد يؤدى بدوره إلى ظهور شروخ بالخرسانة تؤثر على تحملها مع الزمن.

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.

الخواص الحرارية للركام Thermal Properties of Aggregate

*- إن من أهم الخواص الحرارية المؤثرة للركام على خرسانة المنشآت العادية هو معامل التمدد الحراري فكلما زاد معامل التمدد للركام كلما زاد معامل تمدد الخرسانة . وهذا يعتمد على محتوى الركام في الخليط وعلى نسب الخلط.
*- إن الاختلاف الكبير بين معامل التمدد للركام الخشن وعجينة الاسمنت للخرسانة يسبب حركة تفاوتية(عند تغير درجة الحرارة) تؤدي إلى تحطيم الترابط أو التلاصق بين حبيبات الركام وعجينة الاسمنت المحيطة به.

*- إن الأهمية من معرفة معامل التمدد الحراري هو لمنع تمزق الخرسانة وعلى سبيل المثال فان الكوارتز يعاني تحولا في درجة 574م° ويتمدد فجأة بمقدار 0.85 % مما يؤدي إلى تمزق الخرسانة ولهذا السبب لا يجوز صنع الخرسانة المقاومة للنار من ركام الكوارتز.
*- بالإضافة إلى التمدد الحراري للركام هنالك خواص حرارية أخرى مثل الحرارة النوعية والموصلية للركام والتي لها أهمية في المنشآت ذات الكتل الخرسانية الضخمة أو عند الحاجة إلى العزل الحراري الذي يؤثر على انتقال الحرارة في الخرسانة.

المقاس الأقصى للركام Maximum aggregate size

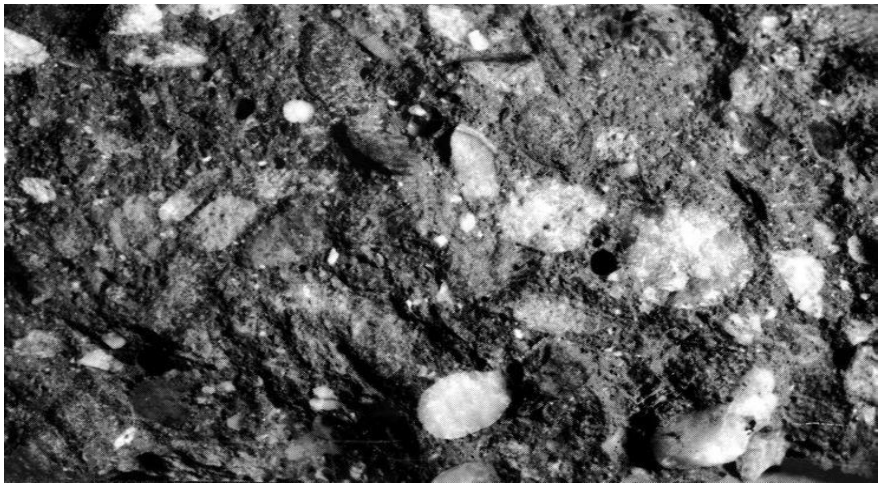
هومقاس اصغر فتحة منخل تسمح لمرور 95 – 100% من الركام الخشن .

المساحة السطحية لحبيبات الركام
احد العوامل الرئيسية التى تتحكم فى جودة الخرسانة نظرا لان مقاومة الخرسانة للاحمال تتوقف على مقاومة التماسك بين حبيبات الركام.
أذا استعمل الركام الكبير فقط مع عجينة الاسمنت يكون الناتج خرسانة ضعيفة لان المساحة النوعية لسطح الركام الكبير صغيرة وعلى ذلك يكون التماسك وترابط حبيبات الركام على مساحة صغيرة وبالتالى مقاومة ضعيفة للاحمال.
اما أذا استعمل الركام الصغير فقط مع عجينة الاسمنت يكون الناتج خرسانة ضعيفة المقاومة لان المساحة النوعية لسطح الركام الصغير كبيرة فلا تكفى حبيبات الركام عجينة الاسمنت الموجودة بقيمة محددة للالتصاق التام لجميع حبيبات الركام بالتالى تضعف المقاومة للاحمال .
يلاحظ ضعف مقاومة الخرسانة المصنوعة من الركام الكبير ناتج من تواجد الفراغات بالخرسانة نتيجة عدم امكان الرص التام وعدم وجود حبيبات صغيرة لملئ الفراغات بين حبيبات الركام الكبير اما ضعف مقاومة الخرسانة

المصنوعة من ركام صغير فهو ناتج عن كثرة ماء اللازم للخلط لاعطاء خرسانة قابلة للتشغيل و ينتج عن ذلك زيادة الماء الحر الذى يتبخر مسببا فراغات .
المساحة السطحية للركام الخليط تكون مناسبة لاحداث تماسك بين الحبيبات ويحقق المقاومة المطلوبة لخرسانة الاعمال الانشائية.

العلاقة بين الركام والعجينة الأسمنتية Aggregate-Paste Relationship

تتركب الخرسانة من عجينة أسمنتية (نشطة) وركام (خامل) وتعتمد مقاومة الخرسانة على مقاومة العجينة حيث أن مقاومة الركام كبيرة جداً بالنسبة لمقاومة العجينة. ولذلك فإن إنهيار الخرسانة التقليدية يكون دائماً في العجينة ويمر الشرخ حول الركام. فإذا أمكننا إنتاج عجينة ذات مقاومة عالية جداً تقترب من مقاومة الركام فإننا نحصل على خرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete والتي يكون الإنهيار فيها مفاجئ حيث يمر الشرخ بالركام (وليس حوله) شكل رقم(1).
أن تشغيلية الخرسانة تنتج من تأثير تشحيم العجينة للركام وتتأثر بمقدار سيولة العجينة. كما تعتمد نفاذية الخرسانة للسوائل على وجود واستمرار العجينة الأسمنتية. وبالإضافة الى ذلك فإن إنكماش الكتلة الخرسانية الدائم يكون ناتج من العجينة الأسمنتية وليس الركام.
والعجينة الأسمنتية تكون عبارة عن مُعلق Suspension للأسمنت في الماء وكلما خفت درجة تركيز المعلق كلما زادت المسافة بين حبيبات الأسمنت وكلما قلت بالتبعية بنية العجينة. وهذا يوضح أن مقاومة الضغط للخرسانة دالة عكسية مع نسبة الماء إلى الأسمنت (م/س). وعندما تبدأ عملية الإماهة للأسمنت فيتكون الجل من الماء ومن مادة سطح حبيبات الأسمنت والذى قد يصل حجمه الى ضعف حجم الأسمنت الناتج منه. وهكذا مع إستمرار الإماهة يستمر تكون الجل حول كل حبيبة حتى يتصل الجل ببعضه مكوناً بنية العجينة.



شكل (1) الكسر في الخرسانة عالية المقاومة يمر خلال الركام وليس حوله

فحوصات الركام Aggregates Tests

1- تحديد عينات الركام (النمذجة) Sampling of aggregates

عند اخذ عينة من الركام للفحص يجب أن تمثل هذه العينة بصورة صحيحة المجموعة المأخوذة منها و هذه 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 الفحص Purpose

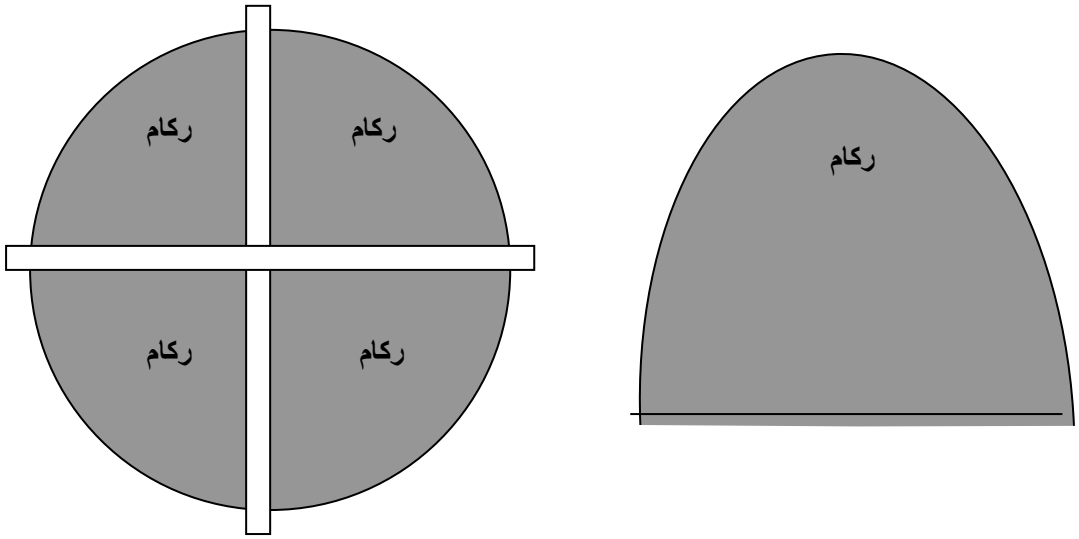
الحصول على عينة تمثل المجموعة المأخوذة منها بصورة صحيحة.

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

*- مجرفة.

طريقة الفحص:- 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

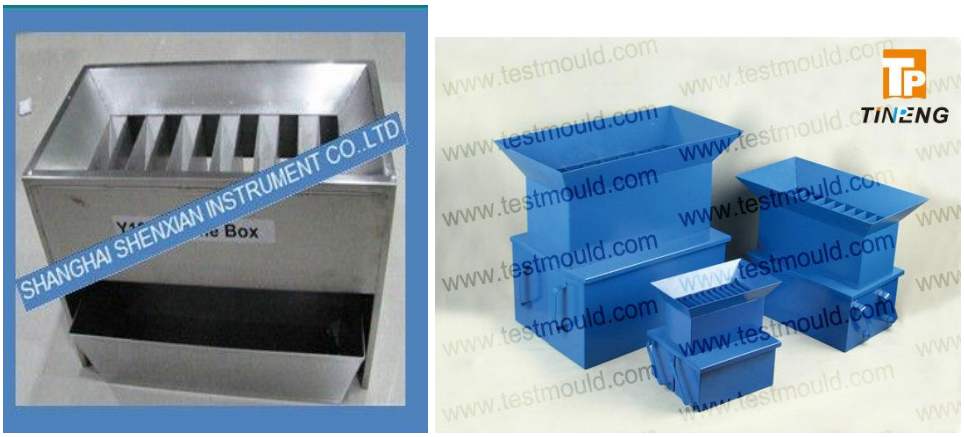
ب- التقسيم النصفي (الآلي) Riffing

الغرض من الفحص Purpose

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 الفحص 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- فحص 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- فحص الكثافة الكلية الغير مرصوصة Loose Bulk Density Test

الغرض من الفحص Purpose

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 الفحص:- Test Method

اعتمدت في هذا الفحص 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/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- فحص الكثافة الكلية المرصوصة Compacted Bulk Density Test

الغرض من الفحص:-
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 الفحص:- Test Method

اعتمدت في هذا الفحص 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:-

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

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- فحص 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 الفحص Purpose

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 الفحص Test Method

اعتمدت في هذا الفحص 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 الفحص Purpose

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 الفحص Test Method

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

يستعمل في هذا الفحص 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	20 – 10
جيد	30 – 20
ضعيف	45 – 30

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- فحص مقاومة السحق للركام Aggregates Crushing Value Test

الغرض من الفحص Purpose

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 الفحص Test Method

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

يستعمل في هذا الفحص 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 التجربة Purpose

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 الفحص:- Test Method**

اعتمدت في هذه التجربة 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 الفحص:- Test Method
اعتمدت في هذا الفحص 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.

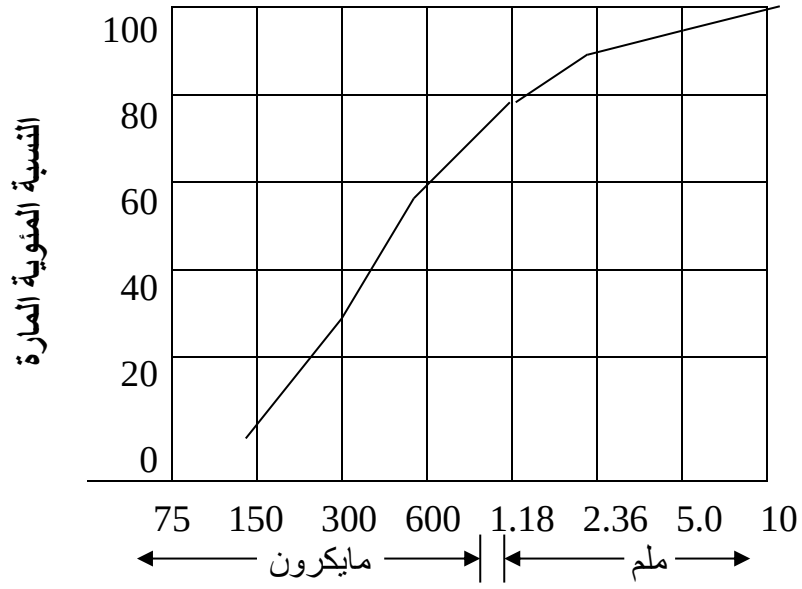
مقاس المنخل		الوزن المحجوز على كل منخل (غم) (2)	الوزن المحجوز المجمع على كل منخل (غم) (3)	النسبة المئوية للوزن المحجوز المجمع على كل منخل (4)	النسبة المئوية للوزن المار المجمع من كل منخل (5)
بريطاني	أمريكي				
(1)					
10.0مم	3/8 انچ	0	0	0	100
5.00مم	4	6	6	2	98
2.36مم	8	31	37	12	88
1.18مم	16	30	67	22	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

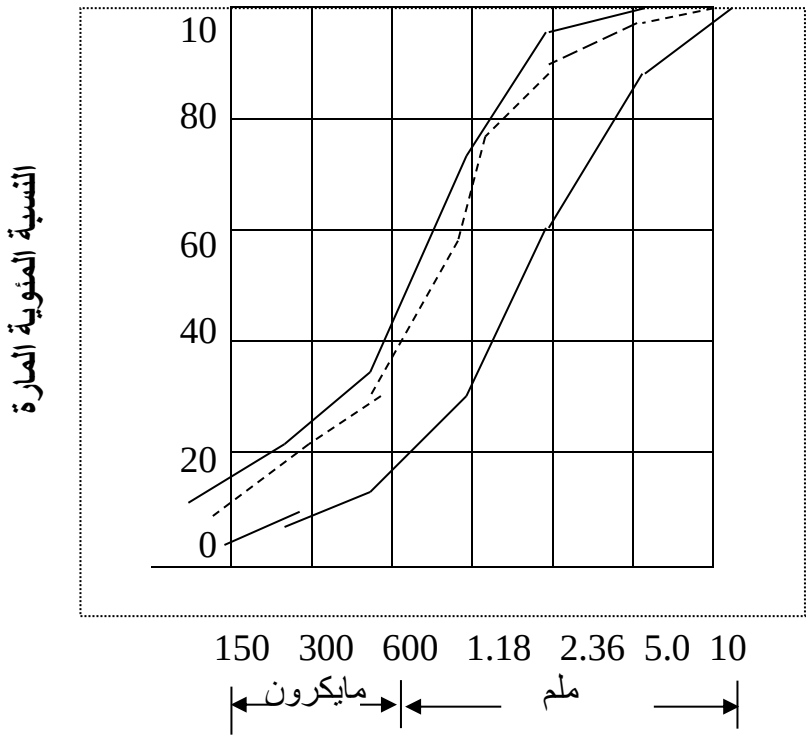
تدرج الركام الناعم والخشن

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 الخشـــن فتحدده المواصـــفات العراقية م.ق.ع رقم (45) لســـنة 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

التدرج منقطع التسلسل

هو التدرج الذي يكون فيه واحد أو أكثر من المقاسات المتوسطة مفقود , حيث يمثل بخط أفقي على حدود المقاسات المفقودة. أن فقدان المقاسات المتوسطة يؤدي إلى خطر الانعزال لذا يجب السيطرة على عملية مناولة الخرسانة بصورة تامة لتجنب حصول الانعزال.
إن الركام ذو التدرج المنقطع التسلسل يظهر أكثر ميلا للانعزال لهذا السبب يفضل استعماله في الخلطات ذات قابلية التشغيل الواطئة نسبيا".

مثال تطبيقي على التحليل المنخلي للركام

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

الخـرسـانـة الـطـريـة
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
الخرساتة الطازجة شرطها ان تكون ذات قوام معين تؤدى الى سهولة التشغيل دون حدوث انفصال حبيبى او نضح (خروج الماء الى سطح الخرسانة حاملا معه الأسمنت)

1- القوام Consistency

يُعبر قوام الخرسانة الطرية عن درجة بلل الخرسانة (Degree of Wetness) فمثلا" يقال خرسانة جافة القوام (Dry) أو صلبة القوام (Stiff) أو لدنة القوام (Plastic) أو مبتلة القوام (Wet) أو رخوة القوام (Sloppy). وكذلك يعبر قوام الخرسانة عن السيولة النسبية للخرسانة (Relative Fluidity) أي انه يبين النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة.

الغرض من تحديد القوام

*- إن الغرض من تحديد القوام هو الحصول على خلطة خرسانية منتظمة ومتجانسة وقابلة للتشغيل تتناسب مع مختلف الأعمال الإنشائية .

العوامل التى تؤثر على القوام

1- نسبة مكونات الخرسانة من ماء/ اسمنت/ رمل/ حصى حيث يزداد الهبوط بزيادة محتوى الماء في الخلطة أو بزيادة نسبة الاسمنت أو لقلة نسبة الرمل إلى الحصى.
2- نعومة الاسمنت (المساحة السطحية للإسمنت) حيث يزداد الهبوط بزيادة المساحة السطحية للإسمنت إلى مقدار 2000سم2/غم حيث تقل بعد ذلك بشرط ثبوت جميع العوامل الأخرى في الخلطة الخرسانية.
3- المقاس الأقصى للركام حيث يزداد الهبوط بزيادة المقاس الاقصى وبالعكس.
4- الزمن بين الانتهاء من خلط الخرسانة وبين إجراء اختبار الهبوط حيث يقل الهبوط بزيادة ذلك الزمن.
5- حرارة الجو حيث يقل الهبوط كلما زادت حرارة الجو وذلك لتبخر جزء من ماء الخلط.
6- الإضافات حيث تعمل على تحسين قوام الخرسانة بدرجات متفاوتة واهم هذه الإضافات الملدنات (Super plasticizers) وهذه تضاف إلى الخلطة بنسبة 1-3 % من وزن الاسمنت.

طرق تعيين القوام

توجد ثلاث طرق رئيسية لتعيين قوام الخرسانة:-
أ- اختبار الهبوط Slump Test
ب- انسياب الخرسانة الطرية بعد تعرضها لاهتزازات ترددية. Flow Test
ج- اختراق جسم معدني للخرسانة تحت تأثير وزنه. Ball Penetration Test

أ- اختبار الهبوط Slump Test

الغرض من الاختبار Purpose

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 الفحص:- Test Method

اعتمدت في هذا الفحص 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

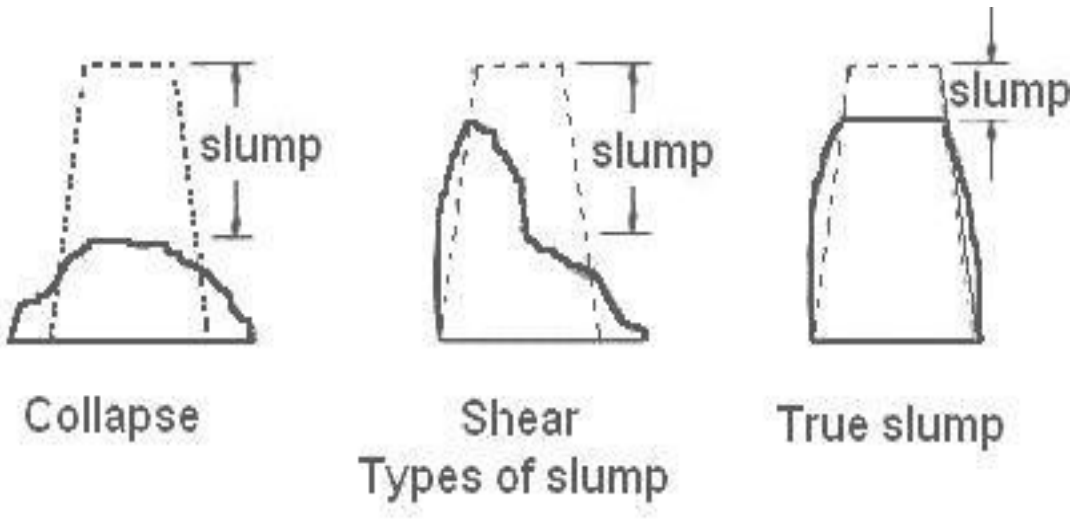
شكل رقم (3) قياس الهبوط لتحديد قوام الخرسانة الطرية

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

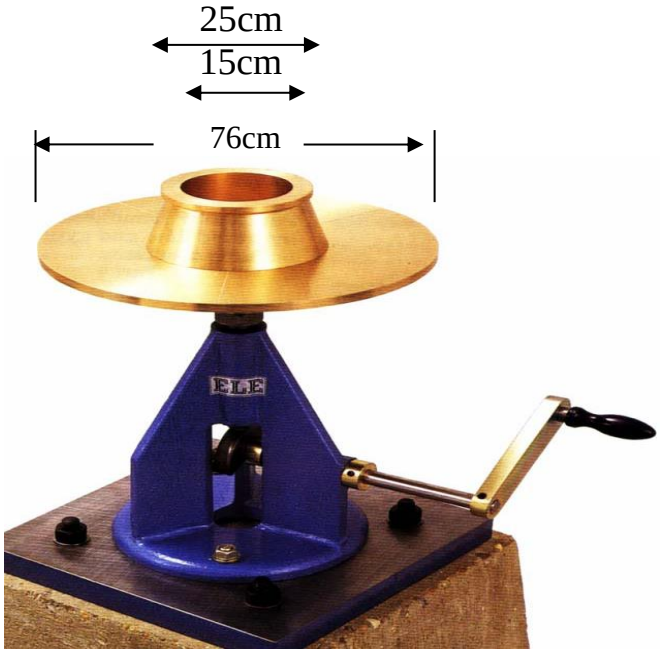
ب- اختبار الانسياب Flow Test

الغرض من التجربة Purpose
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 الفحص:- Test Method

اعتمدت في هذا الفحص 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 (كيلى) 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.

العوامل التي تؤثر على القابلية للتشغيل للخرسانة.

1- الركام Aggregate

وتشمل الصفات التالية:-

* **مقاس الركام** - زيادة نسبة الرمل تزيد من الإحتكاك وبالتالي تزيد صلابة الخلطة.
* **شكل حبيبات الركام** - الحبيبات المدورة أكثر قابلية للتشغيل بينما الحبيبات الزاوية والمفلطحة والغير منتظمة صعبة التشغيل.
* **حالة السطح** - تقل درجة التشغيل بسبب خشونة السطح مثل حالة الأحجار المكسرة.
* **المسامية** - تقلل زيادة المسامية من حركة الحبيبات وتزيد من الإحتكاك الداخلي بينها وتقل التشغيلية.
* **المقاس الإقصى للركام**- إزدياد حجم الحبيبات يقلل من القابلية للتشغيل وممكن ذلك يكون معتمداً على كيفية صب الخرسانة وطبيعة المنشأ .

2- الاسمنت Cement

وتشمل الصفات التالية:-

* **نوعه**- حيث تؤثر طرق صناعة الإسمنت على التشغيلية نتيجة تغير درجة التشحيم في كل نوع.
* **نعومته**- زيادة نعومة الإسمنت يزيد من درجة تشغيل الخرسانة ولكن تكاليف طحن وتنعيم الإسمنت مكلفة جداً بحيث لا توازى المكسب في زيادة درجة التشغيل.
* **خواص العجينة**- نسبة الركام إلى الإسمنت حيث تؤثر هذه النسبة على القابلية للتشغيل بدرجات متفاوتة تعتمد على عدة عوامل مختلفة مثل المساحة السطحية ونصف قطر الركام والحجم.

3- الماء Water

في الخلطات الفقيرة بالإسمنت فإن زيادة الماء لا يؤثر تأثيراً كبيراً على القابلية للتشغيل كما في الخلطات الغنية فإن زيادة الماء لها تأثير كبير وحساس على القابلية للتشغيل.

4- نسبة الماء الى الاسمنت Water Cement Ratio

صغر نسبة م/س تعطى خرسانة جافة وزيادة هذه النسبة لدرجة معينة ينتج عنها خرسانة لها درجة تشغيل أفضل ولكن الزيادة الكبيرة في نسبة الماء ينتج عنها خرسانة ذات تشغيلية رديئة نظراً لسيولتها .

5- الإضافات Admixtures

تعمل الإضافات على تحسين درجة التشغيل للخرسانة بدرجات متفاوتة وأهم هذه الإضافات هي:

أ- الملدنات Super plasticizers وهى مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسب1-3 % من وزن الاسمنت.
ب- مواد مسحوقة ناعما وتعمل على تشحيم الخلطة مثل بودرة الحجر الجيري.
ج- مواد جيلاتينية تضاف إلى الخلطة.

6- الهواء المحبوس Air Entraining
يعمل الهواء المحبوس في الخرسانة على تحسين القابلية للتشغيل وذلك إذا كانت نسبته تتراوح من 3-7 %.

طرق تعيين قابلية الخرسانة للتشغيل.

أ- اختبار عامل الرص Compacting Factor Test

الغرض من الاختبار Purpose

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 الفحص:- Test Method

اعتمدت في هذا الفحص 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

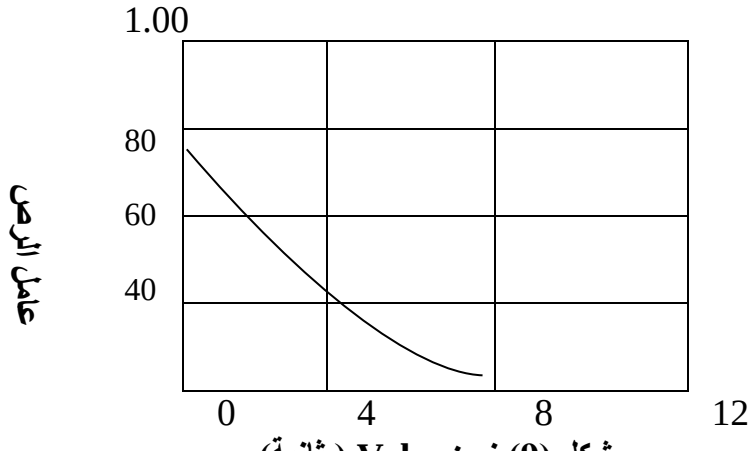
الجهاز المستخدم في هذا الفحص مبين بالشكل رقم (8).
في هذا الفحص يملأ المخروط الناقص بالخرسانة باربع طبقات وكل طبقة تدك بقضيب الرص القياسي 25 مرة موزعة بالتساوي على سطح الخرسانة . ثم يسوى سطحه ويرفع مباشرة" , بعد ذلك تعرض الخرسانة للاهتزازات الترددية باستعمال المنضدة الهزازة والتي تهتز بسرعة قدرها 3000 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)

3- الانفصال الحبيبي Segregation

الانفصال الحبيبي هو انفصال مكونات أي خليط غير متجانس(مثل الخرسانة) بحيث يصبح توزيع هذه المكونات غير منتظم .ويوجد نوعان من الإنفصال الحبيبي للخرسانة:

1- إنفصال الحبيبات الكبيرة من الركام نتيجة لكونها أكثر ترسباً .وذلك يكون في الخلطات الجافة جداً وخاصة الفقيرة في الإسمنت.
2- إنفصال عجينة الاسمنت ويحدث ذلك في الخلطات المبتلة جداً.

أسباب حدوث الانفصال الحبيبي

1- الخلط -عند زيادة زمن الخلط عن الزمن اللازم والمناسب فقد يحدث إنفصال نتيجة قوة الطرد المركزية لحلة الخلاط والذي ينتج عنه أن الركام الصغير يلتصق بالجدار والكبير يهبط إلى أسفل .ولتلافى ذلك يجب عدم زيادة زمن الخلط عن الزمن المحدد لذلك .كذلك يجب عند تفريغ الخلاط أن لا تزيد مسافة التفريغ عن (1) متر.
2- النقل- عند نقل الخرسانة إلى موضع الصب يمكن حدوث إنفصال نتيجة الرج و التأرجح لعربات النقل وخاصة في الخلطات المبتلة.
3- الصب- يجب مراعاة عدم الصب من إرتفاعات عالية.
4- الرص- الرص الزائد قد يسبب إنفصالاً حبيبياً.

كيفية منع حصول الانفصال

1- ينبغي العناية بتصميم الخلطة الخرسانية وضبط مكوناتها عن طريق زيادة المواد الناعمة مثل الأسمنت والركام الصغير وكذلك تقليل نسبة م/س مما يؤدى إلى تماسك أكبر للخلطة الخرسانية.
2- استخدام إضافات تقليل ماء الخلط Super plasticizers.
3- مراعاة عمليات الصناعة من خلط و نقل و صب.
4- استخدام إضافات تحسين اللزوجة.

- النضح Bleeding

النضح هو تكون طبقة من الماء على سطح الخرسانة المصبوبة حديثا بعد رصها و تسويتها.

أسباب حصول النضح

كثرة الرص الذي يؤدى إلى هبوط المكونات الثقيلة (الركام) إلى أسفل وصعود العجينة الإسمنتية إلى أعلى وكذلك زيادة ماء الخلط.

الأضرار التي يسببها النضح

1- احتواء الطبقة العليا على نسبة عالية من الماء مما يسبب وجود فراغات في تلك الطبقة نتيجة تبخر الماء وبالتالي ضعف مقاومة الخرسانة.
٢ - عند صعود الماء إلى أعلى قد يحمل معه جزيئات ناعمة من الإسمنت تكون طبقة هشة على السطح بعد تبخر الماء وجفافه ولذلك يلزم إزالة هذه الطبقة قبل الاستمرار في الصب.
٣ - تراكم طبقة رقيقة من الماء تحت سطوح الركام الكبير والحديد مما يؤدى إلى فراغات وضعف قوة التماسك بين الخرسانة و حديد التسليح.

كيفية منع حصول النضح

يجب إستعمال كمية ماء خلط مناسبة وعدم إستعمال خلطات مبتلة جداً أو بها نسبة قليلة من المواد الناعمة مثل الأسمنت والرمل .كما إن إستخدام نسبة من الملدنات في الخلطة يؤدى إلى تحسين خواص الخرسانة ويعمل على تقليل ماء الخلط وتلاشى ظاهرة النضح.

اختبار تعيين كثافة الخرسانة الطرية

الغرض من الاختبار Purpose

تعين الوزن لكل متر مكعب من الخرسانة الطرية

الادوات والاجهزة المستعملة Apparatus and Device

1- ميزان سعة 50 كغم.
2- قضيب رص معدني مربع المقطع طول ضلعه 25 ملم ووزنه 1.8 كغم وطوله 380 ملم.
3- منضدة هزازة مناسبة.
4- مسطرة تسوية.
5- اسطوانة قياس ذات مقابض.
6- مغرفة .

طريقة الفحص:- Test Method

1- يثبت حجم الاسطوانة (A) 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).
2- يتم وزن اسطوانة القياس وهي فارغة (B).
3- ثم تملأ الاسطوانة بالخرسانة الطرية (6 طبقات) سمك الطبقة لا يزيد عن (5) سم وترص كل طبقة بالاهتزاز او بالرص اليدوي بقضيب الرص (60 ضربة لكل طبقة) للحصول على خرسانة مرصوصة كليا.

3- يتم تسوية السطح النهائي للاسطوانة وتوزن الاسطوانة مع الخرسانة (C).ونستخرج وزن الخرسانة بعد طرح وزن الاسطوانة (C-B).
4- نحسب كثافة الخرسانة:

كثافة الخرسانة = C-B / A كغم / م^3

الماء في الخرسانة

*- ان نوعية الماء(Quality of Water) المستعمل في الخرسانة واحتوائه على الشوائب قد يتعارض مع تجمد الاسمنت وقد يؤثر على مقاومة الخرسانة بصورة عكسية او يسبب تلوث سطحها وقد يؤدي الى تصدأ الحديد. ولهذه الاسباب لابد من الاخذ بنظر الاعتبار ملائمة الماء المستعمل في الخلط او في معالجة الخرسانة.

ماء الخلط Mixing Water

*- تنص المواصفات عادة على ان الماء الصالح للشرب يكون صالحا" للاستخدام في الخلطة الخرسانية.
*- اذا احتوى الماء على اكثر من 2000 جزء لكل مليون(ppm) الغرين فمن المفضل ترك الماء يستقر في احواض لكي تترسب قبل الاستعمال.
*- المواد الصلبة المذابة في الماء تحدد ب 1000 ppm ولا تزيد عن 2000 ppm.
*- يكون المقياس الحامضي (ph) لماء الصالح للخلط بين (6-8).
*- اللون الغامق للماء لا يعني بالضرورة احتوائه على مواد ضارة.
*- تنص المواصفات عادة على ان الماء يجب ان يكون خالي من الكلوريد والكبريتات والاملاح في ماء الخليط ، وخاليا أيضا من المواد الضارة مثل الزيوت والشحوم والأحماض والقلويات والمواد العضوية والفلين والمواد الناعمة سواء كانت هذه المواد ذائبة أو معلقة وخلافها من المواد التي يكون لها تأثير عكسي على الخرسانة من حيث قوة الكسر والمتانة.
*- الماء الغير صالح للشرب غالبا" ما يكون مقبولا" للاستعمال في الخرسانة. على أن لا يزيد تركيز الشوائب فيه عن نسب معينة تحددها المواصفات.
*- وكقاعدة فان الماء الذي لا لون ولا طعم مميز له يمكن ان يستخدم في خلط الخرسانة.

ماء المعالجة Curing Water

*- بصورة عامة فان اي ماء مقبول للاستعمال في خلط الخرسانة فمن الممكن استعماله في معالجة الخرسانة.

ماء البحر Sea Water

*- ماء البحر (Sea Water) يكون صالح للاستعمال عندما لا تتجاوز ايونات الكلوريدات عن 500 ppm وايونات الكبريتات عن 1000 ppm . وماء البحر يتسبب في مقاومة اولية عالية بعض الشيء ولكن المقاومة النهائية للخرسانة نكون عادة اقل منها في حالة استعمال الماء الاعتيادي ويسمح باستخدامه اذا لم تتجاوز النسبة في نقصان المقاومة عن 15% .
*- ماء البحر يحتوي على نسبة عالية من الكلوريدات مما يؤدي الى حدوث ظاهرة التزهر.
*- ماء البحر قد يزيد من خطورة صدأ حديد التسليح ولهذا لا ينصح باستخدامه في صب الخرسانة المسبقة الجهد بسبب صغر مقطع السلك وخطورة حدوث الصدأ.
*- ماء البحر يعجل من وقت تجمد الاسمنت

أهمية الماء في الخرسانة

1- عنصر أساسي في التفاعل الكيماوي مع المادة الاسمنتية.
2- إن الماء ضروري لعمليات ترطيب الخرسانة أثناء تصلبها.
3- يعطي الماء الخليط المؤلف من الركام الخشن والناعم والاسمنت درجة مناسبة من الليونة تساعده على التشغيل والتشكيل .
4- بوجود الماء يمكن خلط مقدار أكبر من الركام بنفس الكمية من الأسمنت.
5- إن الماء يعطي حجماً للخرسانة يتراوح ما بين 15-20 %.
6- يضيع جزء من الماء الموجود في خلطة الخرسانة أثناء عملية التبخر.

خلط الخرسانة Mixing of Concrete

يعتبر خلط الخرسانة من أهم العمليات التي تؤثر على خواصها المختلفة لذلك يجب إعطائها العناية الكافية .
تخلط مكونات الخرسانة مع بعضها البعض للحصول على خليط متجانس التكوين والقوام.
يجب أن تكون جميع سطوح حبيبات الركام مغطاة بعجينة الاسمنت.

طرق خلط الخرسانة

1- الطريقة اليدوية Hand Mixing

وهذه الطريقة تحتاج الى جهد وعناية كافية أثناء عملية الخلط للحصول على خليط متجانس وفيها يتم نشر الركام في طبقات منتظمة على سطح صلب ونظيف وغير مسامي ثم نشر الاسمنت فوقه وتقلب المواد من إحدى النهايات الى الأخرى (تكرر لثلاث مرات) حتى ينتج خليط منتظم اللون ثم يعمل تجويف في وسط الخلط ويضاف له الماء وتقلب الخلطة بصورة جيدة حتى ينتظم قوامها.

2- الخلط الميكانيكي Mechanical Mixing

وهذه الطريقة لا تحتاج الى جهد كبير اثناء عملية الخلط وتصنف الخلاطات الميكانيكية تبعا" لطريقة تفريغ الخلاطة الى الأنواع التالية:-

*- الخلاطات القلابة.
*- الخلاطات الغير قلابة.
*- الخلاطات القدرية.
*- الخلاطات الاسطوانية.
*-الخلاطات الثنائية الوعاء.
ويعبر عن مقاس الخلاطة بحجمها وغالبا" يستعمل رقمين : يشير الأول الى حجم المكونات الغير مخلوطة بصورة سائبة , والثاني يعبر عن حجم الخرسانة عند خلطها.

زمن الخلط Mixing Time

*- من الضروري معرفة الحد الأدنى للزمن اللازم لعملية الخلط لإنتاج خرسانة متجانسة التكوين وذات مقاومة مناسبة. وهذا الزمن يختلف باختلاف نوع الخلاطة (أي عدد دورات الخلاطة اللازمة لعملية الخلط).

*- إن زمن الخلط اللازم للحصول على خليط متجانس التكوين واللون يعتمد على نوعية او جودة موالفة المواد أثناء تفريغ الخليط.
*- لقد وجد بان خلط الخرسانة لفترة اقل من 1 - 1¼ دقيقة يعطي خرسانة متغيرة كثيرا" والزيادة عن هذا الوقت لا يؤدي الى تحسين تجانس الخليط بدرجة كبيرة .
*- إن خلط الخرسانة لفترة طويلة يؤدي الى تبخر الماء من الخليط ويتبع ذلك نقصان في قابلية التشغيل وقد تسبب الزيادة في زمن الخلط الى تكسر الركام الخشن وبالأخص إذا كان ضعيفا" وارتفاع حرارة الخليط بسبب الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات الصلبة.

رص الخرسانة Compaction of Concrete

الغاية من رص الخرسانة هو طرد الهواء المحصور والحصول على أقصى كثافة ولزيادة قوى الربط بين مكونات الخرسانة من جهة وبين الخرسانة وحديد التسليح من جهة أخرى.

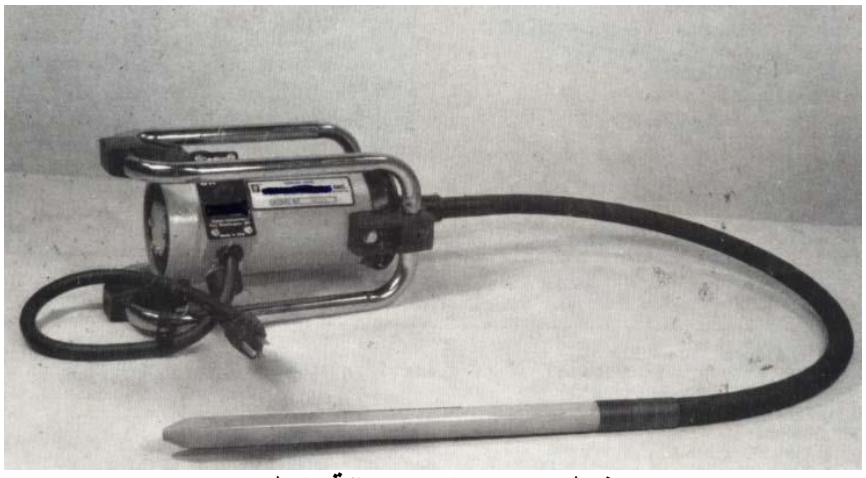
طرق رص الخرسانة

1- الطريقة اليدوية
تستعمل هذه الطريقة في الأحوال الاعتيادية وفي الخلطات المبتلة القوام.

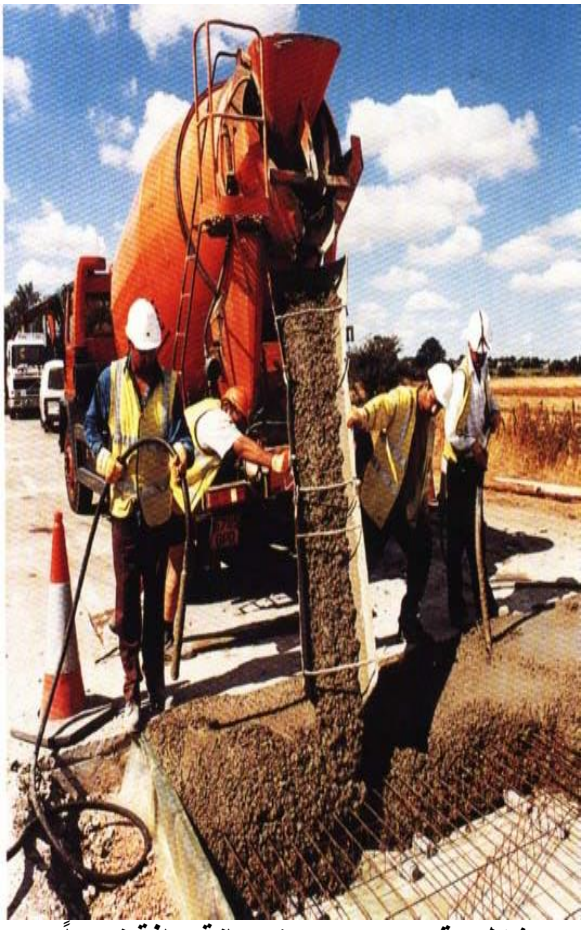
2- الطريقة الميكانيكية
تستعمل هذه الطريقة في الأعمال الهامة والكبيرة والتي يراد فيها الحصول على خرسانة جيدة باستعمال الهزازات الميكانيكية.
في هذه الطريقة يمكن استعمال خلطات اجف قواما" (عامل الرص من 0.60 – 0.75) من تلك المرصوصة يدويا".
وبذلك يمكن الحصول على مميزات عديدة منها:-
*- زيادة مقاومة الخرسانة للانضغاط والانثناء.
*- زيادة كثافة الخرسانة وتقليل الامتصاص.
*- زيادة مقاومة الخرسانة للعوامل الجوية.
*- زيادة التماسك والترابط بين مكونات الخرسانة وبين الخرسانة وحديد التسليح.
*- تقليل التغيرات الحجمية.
*- تقليل الانعزال لمكونات الخرسانة.

تصنيف الهزازات

1- الهزازات الداخلية
*- تسمى بالهزازات الغاطسة حيث تغطس وقتيا" في الخرسانة الطرية لتوليد قوى توافقية شكل رقم (10).
*- تعتبر من أفضل أنواع الهزازات المستعملة لرص الخرسانة لسهولة حركتها داخل الخرسانة لتوزيع الاهتزازية خلالها وكذلك لتأثيرها المباشر على الخرسانة.
*- يصل الحد الأعلى للاهتزازات الترددية الى حد 12000 دورة اهتزازية في الدقيقة الواحدة ويصل الحد الأدنى الى 3500-5000 دورة اهتزازية في الدقيقة الواحدة.
*- تجري عملية الرص لكل (m^3 0.5 - 1) من الخرسانة ولمدة 5 – 30 ثانية وحسب قوام الخليط.



شكل (10)هزاز خرسانة داخلي



شكل رقم (11)صب خرسانة جافة نسبياً إستخدام الهزاز وقت أكبر.

شكل رقم (12) صب خرسانة عالية السيول والانسيابية لا تحتاج إستخدام الهزاز

2- الهزازات الخارجية

*- تثبت هذه الهزازات على سطوح القوالب بواسطة ماسكات فتتم عملية الاهتزاز للقوالب والخرسانة سوية.
*- الاهتزازات الترددية تتراوح بين 3000 – 6000 دورة اهتزازية في الدقيقة.
*- تستعمل هذه الهزازات في عملية رص الخرسانة المسبقة الصب (Precast) أو في رص المقاطع الخرسانية المصبوبة في الموقع والتي يكون عرضها أو سمكها قليل بحيث لا يمكن استعمال الهزازات الداخلية فيها.

3- المنضدة الهزازة

*- توضع القوالب على سطحها لغرض الرص.
*- تستعمل هذه المناضد في عملية رص الخرسانة المسبقة الصب (Precast) أثناء إنتاجها حيث تمتاز برص الخرسانة بصورة متجانسة.

4- هزازات أخرى

*- ومنها الهزازات السطحية التي تستخدم في الخرسانة الكتلية كالخزانات والسدود وهزازات المطرقة الكهربائية التي تستخدم لرص مكعبات الفحص والحادلة الهزازة التي تستخدم لرص البلاطات الرقيقة السمك.

صناعة الخرسانة في الجو الحار Concreting in Hot Weather

*- إن ارتفاع درجة الحرارة للخرسانة الطرية يسبب زيادة سرعة عملية الاماهة وزيادة سرعة التجمد.
*- إن ارتفاع درجة الحرارة للخرسانة الطرية يقلل من مقاومة الخرسانة المتصلبة وذلك لعدم توفر الوقت الكافي لتوزيع نواتج عملية الاماهة في داخل المسامات الشعرية ونتيجة لذلك تتكدس هذه النواتج في مناطق مختلفة تاركة بعض الفراغات في داخل المسامات الشعرية.
*- إن زيادة سرعة تبخر الماء من الخرسانة الطرية وخاصة عندما يكون أعلى من سرعة نضوح الماء الى سطحها يؤدي الى حصول الانكماش اللدن وتشقق الخرسانة.

المعالجات:-

*- تقليل محتوى الاسمنت بقدر الإمكان في الخليط لتقليل حرارة الاماهة.
*- تبريد واحد أو أكثر من مكونات الخليط باستعمال الجليد عوضا" عن جزء من ماء الخلط .
*- وقاية الخرسانة من الشمس .
*- ترطيب الخرسانة المستمر لمنع تبخر الماء داخل الخرسانة.

الخرسانة الجاهزة الخلط Ready Mixing Concrete

*- تستخدم هذه الخرسانة في مواقع العمل المزدحمة وفي إنشاء الطرق بسبب عدم توفر الأماكن الكافية لخزن المواد اللازمة لعمل الخرسانة ولخلطها.
*- إمكانية تحضيرها تحت ظروف من السيطرة التامة.
*- تستخدم عند الحاجة الى كميات صغيرة من الخرسانة أو عند صب الخرسانة بفترات مختلفة.
*- تنقل هذه الخرسانة الى موقع العمل بواسطة سيارات نقل ذات وعاء دوار بصورة مستمرة لغرض تحريك الخرسانة.
*- تكون كلفة هذه الخرسانة أعلى من كلفة الخرسانة المخلوطة في موقع العمل.
*- هنالك نوعان من الخرسانة الجاهزة الخلط , في النوع الأول يتم خلط مكونات الخرسانة في المصنع المركزي ثم تنقل الى الموقع بواسطة شاحنة لوري تدور بطيئا" لتجنب الانعزال وتسمى هذه بالخرسانة المخلوطة بالمركز(Central- mixed), أما النوع الثاني فيتم تحديد كميات المواد في المصنع المركزي ثم تخلط في سيارة النقل وقبل الوصول الى موقع العمل وتعرف هذه بالخرسانة المخلوطة أثناء النقل(Transit mixed concrete)
*- إن الوقت المسموح به لإبقاء مكونات الخرسانة مخلوطة يحدد بحوالي 90 دقيقة .

الخرسانة المنقولة بالضخ Pumped Concrete

*- من الفوائد العملية لهذه الخرسانة هي إمكانية تجهيزها الى نقاط موزعة على مساحات واسعة يصعب الوصول إليها بطرق أخرى كما في صب بطانة الأنفاق.
*- من الممكن أن تنقل الخرسانة بالضخ بواسطة مضخة تدفع الخرسانة الى حوالي 450 م أفقيا" والى 40 م عموديا".
*- يجب عدم استخدام أنابيب الألمنيوم في الضخ لان الألمنيوم يتفاعل مع قلويات الاسمنت مولدا" غاز الهيدروجين الذي يسبب تكوين فجوات داخل الخرسانة مؤديا" الى نقصان مقاومتها.
*- يستحسن أن تكون الخلطات المنقولة بالضخ غنية بالاسمنت وتزيد فيها نسبة الرمل وجيدة التشغيل ولا يحصل فيها الانعزال.

شكل (٤) محطة خلط مركزية لإنتاج الخرسانة.

شكل () عربة خلط خرسانة سعة ١٠ متر مكعب.

شكل ( ) إستخدام عربات خلط ونقل الخرسانة و عربة الضخ فى صب الجسور.

<u>طرق وخطوات اختبار الخرسانة الجاهزة قبل الصب والإجراءات المتبعة في حالة فشل الاختبار:-</u>

ملاحظة:- تؤخذ لكل (100) م^3 من الخرسانة (6 قوالب) من نماذج متفرقة للخرسانة.

1-عند قدوم المركبة الحاملة للخرسانة الى موقع العمل وقبل التفريغ يؤخذ نموذج من الخلطة ونقوم بفحص درجة حرارة الخرسانة وعمل اختبار الهطول لها. فاذا كانت درجة الحرارة والهطول ضمن الحدود المطلوبة فيتم افراغها وصب الخرسانة. اما اذا كانت درجة الحرارة والهبوط ليس ضمن الحدود المطلوبة فتعاد الخلطة الى مصنع الخرسانة.
2- وبعد التفريغ يتم صب المكعبات الخرسانية (6 مكعبات) , ثلاثة تفحص بعد (7) أيام والثلاثة الأخرى تفحص بعد (28) يوم.
3- تفحص الثلاثة مكعبات بعد (7) أيام وفي حال ظهور مقاومة الخرسانة اكثر من 75-80 % من مقاومة الخرسانة المطلوبة فيتم الاستمرار بالعمل. اما اذا كانت النتيجة اقل من 75-80% من مقاومة الخرسانة فيتم الايعاز بإيقاف العمل لحين ظهور نتيجة الفحص في (28) يوم فاذا ظهرت النتيجة مساوية او اكثر من قيمة المقاومة المطلوبة فيتم الاستمرار بالعمل.
4- اما اذا كانت النتيجة اقل فيتم إيقاف العمل واجراء الفحوصات اللاتلافية او فحص الكور فاذا كانت النتيجة ضمن الحدود المقبولة لهذا الفحوصات فيتم الاستمرار بالعمل وقد تفرض غرامات على المقاول. واذا كانت النتيجة اقل من الحدود المطلوبة للفحص فيتم اللجوء الى فحص التحميل للمنشأ . فاذا كانت النتائج ضمن الحدود المقبولة لهذا الفحص فيتم اللجوء الى بعض الحلول كأن يتم تقليل وزن المنشأ بحذف احد الطوابق او إضافة دعامات تقوية للبناية. كالجسور الحديدية او عمل أعمدة إضافية للمبنى في الأجزاء الحرجة.

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

1- مقاومة الضغط Compressive Strength

إن مقاومة الضغط هي أهم خواص الخرسانة المتصلبة على الإطلاق وهى تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها ، ومقاومة الضغط هي المقاومة الأم للخرسانة حيث أن معظم الخواص والمقاومات الأخرى مثل الشد و الانحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط والعكس صحيح .لذلك يجرى اختبار الضغط بغرض التحكم في جودة إنتاج الخرسانة في موقع المشروع.
تتراوح مقاومة الضغط بين (25 – 35) نت / مم^2 للمنشآت الاعتيادية.
تتراوح مقاومة الضغط بين (40 – 50) نت / مم^2 للمنشآت الخاصة.
تتراوح مقاومة الضغط بين (50 – 60) نت / مم^2 للخرسانة مسبقة الجهد.

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط
تتأثر مقاومة الضغط بعوامل عديدة ومتنوعة ويمكن تقسيمها إلى أربعة مجموعات رئيسية:-
1- المواد المكونة ونسب الخلط.
2- طرق صناعة الخرسانة من خلط ونقل وصب ورص .
3- ظروف المعالجة.
4- العمر وظروف الاختبار.
وجميع هذه العوامل موضحة بالجدول رقم (1) .

المواد المكونة ونسب الخلط	طرق التحضير	ظروف المعالجة	العمر وظروف الاختبار
1- الاسمنت (نوعه وتركيبه – نعومته – كميته)	الخلط	درجة الحرارة	معدل التحميل
2- الركام (نوعه - المقاس الأقصى – المساحة السطحية – التدرج الحبيبي – نسبة الركام إلى الاسمنت – نسبة الركام الخشن إلى الناعم – معامل النعومة).	الصب	درجة الرطوبة	اتجاه التحميل.
3- ماء الخلط (نوعه – كميته – نسبة الماء/الاسمنت	الرص	زمن المعالجة.	الرطوبة في النموذج
4- الإضافات (كمية الجرعة – الفاعلية الكيميائية).	ـــــ	طرق المعالجة	حجم وشكل العينة.

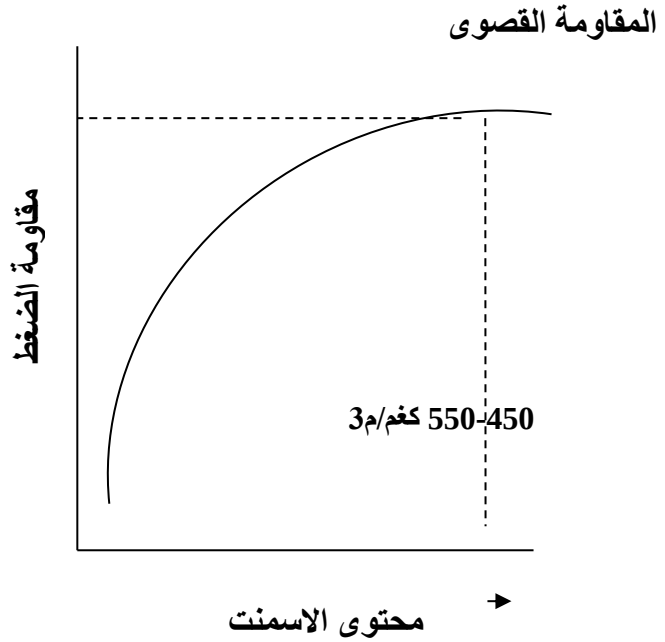
جدول رقم(1) يبين العوامل التي تؤثر على مقاومة الضغط للخرسانة

1- تأثير الاسمنت

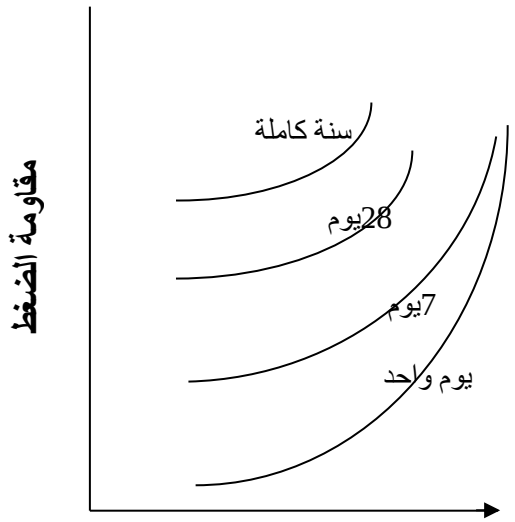
الإسمنت هو المكون الرئيسي الفعال الذي تتوقف عليه مقاومة الخرسانة وأهم العوامل المؤثرة في الإسمنت هي كميته ونعومته وتركيبه الكيميائي
أن مقاومة الخرسانة تزيد بزيادة محتوى الإسمنت وذلك حتى محتوى معين يقل عنده معدل الزيادة في المقاومة ثم تتوقف الزيادة في المقاومة بعد ذلك وربما تقل .وهذا المحتوى يختلف باختلاف نسب مكونات الخلطة وكذلك يتوقف على وجود أو عدم وجود إضافات كيميائية أو معدنية .وعموماً فقد وجد أن المحتوى الأقصى للإسمنت الذي يعطى أعلى مقاومة ضغط للخرسانة يقع بين 450 و 550 كغم/م٣ كما موضحة في الشكل رقم (1).

أما بالنسبة لنعومة الإسمنت فهي تؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومة الخرسانة وخاصة في الأعمار المبكرة حتى ٢٨ يوم . بعد ذلك يقل معدل الزيادة في المقاومة تدريجياً بتقدم عمر الخرسانة حتى يكاد ينعدم عند الأعمار المتأخرة جداً.وكما موضحة في الشكل رقم (2).

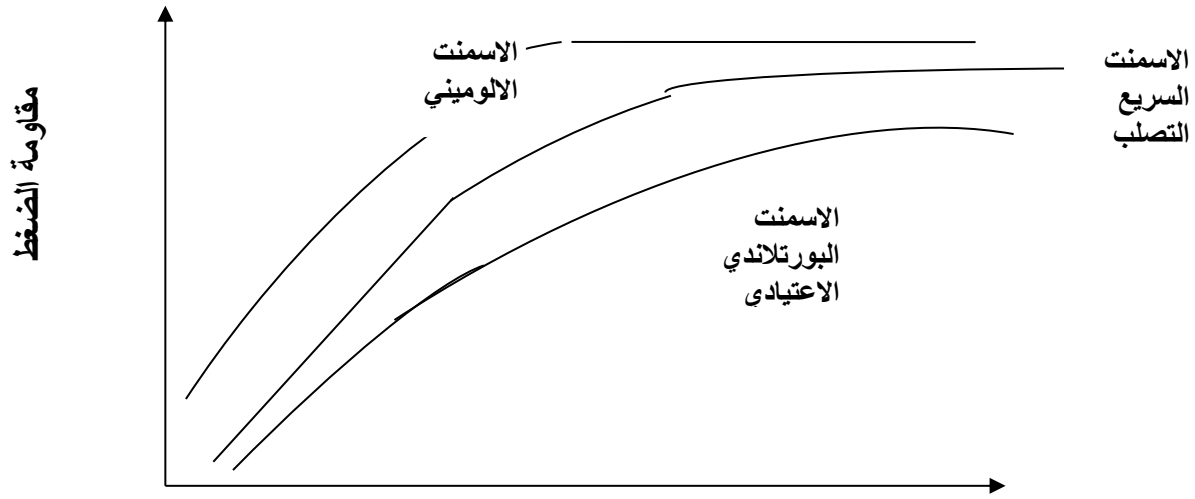
أما بالنسبة لتأثير التركيب الكيميائي للإسمنت فيعتمد ذلك بصورة كبيرة على نسب المكونات الرئيسية الأربعة للإسمنت وهى سلكيات ثنائي الكالسيوم C_2S وسلكيات ثلاثي الكالسيوم C_3S وثالث ألومينات الكالسيومC_3A ورابع ألومينات حديد الكالسيوم C_4AF.
أما العنصرين الأولين C_2S وC_3S فهما الذين يتحكمان في المقاومة و ويتراوح مجموع نسبتيهما حوالي 75 % .
وعموماً فإن الإسمنت الذي يحتوي على نسبة عالية منC_3S يكتسب مقاومة أسرع من الإسمنت المحتوي على نسبة عالية منC_2S حيث أن C_3S هو المركب المسئول عن المقاومة المبكرة للإسمنت. .أما العنصر الثالث في الإسمنت و هو ثالث ألومينات الكالسيوم C_3A فهو المسئول عن انبعاث حرارة عالية أثناء الخلط وهو المتسبب في وجود الخواص غير المرغوبة في الإسمنت مثل حدوث التغيرات الحجمية و التشققات و التدهور عند التعرض للكبريتات .
إلا أن هذا العنصر موجود في الإسمنت بحكم تواجده في المواد الخام.
أما العنصر الرابع وهو رابع ألومينات حديد الكالسيوم C_4AF فهو عنصر خامل تقريباً ويحل محل العناصر النشطة في الإسمنت وبالتالي فلا يرغب في تواجده بنسبة عالية.
وبالتحكم في نسبة المكونات الرئيسية للإسمنت وكذلك نعومته يمكننا صناعة الأنواع المختلفة من الإسمنت مثل الإسمنت سريع التصلب والإسمنت البورتلاندي العادي والإسمنت فائق النعومة والإسمنت المقاوم للكبريتات
والشكل رقم (3) يوضح تأثير نوع الإسمنت حيث نجد أن الإسمنت السريع التصلب يظهر مقاومة مبكرة عالية ولكن بعد ثلاثة شهور تقريباً تكون المقاومة مساوية لتلك التي نحصل عليها من الإسمنت البورتلاندي العادي.



شكل رقم (1)
تأثير محتوى الاسمنت



شكل رقم (2)
تأثير نعومة الاسمنت



شكل رقم (3) تأثير نوع الاسمنت على مقاومة الضغط

2- تأثير الركام

الركام هو المادة المالئة بالخرسانة والتي يُفترض أنها خاملة كيميائياً .وعموماً فإن مقاومة الخرسانة تتوقف على التماسك بين العجينة الإسمنتية والركام المستخدم حيث ينبغي أن تغلف العجينة الإسمنتية بكفاءة أسطح الركام المستخدم ومن ثم نجد أن نوع الركام وشكله ونعومته ومساحته السطحية وطبيعة سطحه من العوامل الرئيسية التي تؤثر على مقاومة الخرسانة.

*- يؤثر نوع الركام على مقاومة الضغط حيث نجد أن الحجر الجيري أو الدولوميت يعطى مقاومة أكبر من الحصى.

*- أما معامل النعومة فان مقاومة الضغط تزيد بزيادة قيمة معامل النعومة للركام الشامل.

*- أما المساحة السطحية للركام فتؤثر تأثيراً كبيراً على مقاومة الضغط ومساحة الركام السطحية تعتمد على نسبة الركام الناعم إلى الركام الخشن وكذلك على نعومة أو خشونة الركام المستخدم.

3- تأثير ماء الخلط والرص

إن تأثير نسبة الماء إلى الإسمنت (م/س)هو بلا شك من أهم العوامل التي تؤثر ليس فقط على مقاومة الخرسانة Strength بل أيضاً على متانتها Durability .

ان تقليل الماء في الخلطة إلى درجة معينة هو أساس الحصول على الخرسانة عالية المقاومة High Strength Concrete أو الخرسانة عالية الأداء High Performance Concrete.

إن مقاومة الخرسانة تتأثر تأثرا كبيرا بدرجة رصها حيث أن الرص الغير جيد يؤدى إلى وجود فراغات هوائية في الخرسانة تعمل على تقليل المقاومة وتدهور الخرسانة.

4- تأثير العمر والمعالجة

العمر:-

إن المعدل الذي تتحسن به المقاومة (Rate of Strength Gain) يكون كبيراً في الأعمار المبكرة خاصة في الأسابيع الأربعة الأولى ويقل تدريجياً مع تقدم العمر .ولذلك تم اعتبار المقاومة بعد ٢٨ يوم هي المقاومة القياسية للخرسانة. (لان الخرسانة تحصل على ما يقارب 90% من مقاومتها في هذه الفترة) واعتبرت أي زيادة في المقاومة بعد هذا العمر والتي تحصل عليها الخرسانة كمساهمة في رفع عامل الأمان للمنشأ. كما ويمكن تقدير المقاومة للخرسانة في 28 يوم من قيمة المقاومة في 7 أيام حيث:-

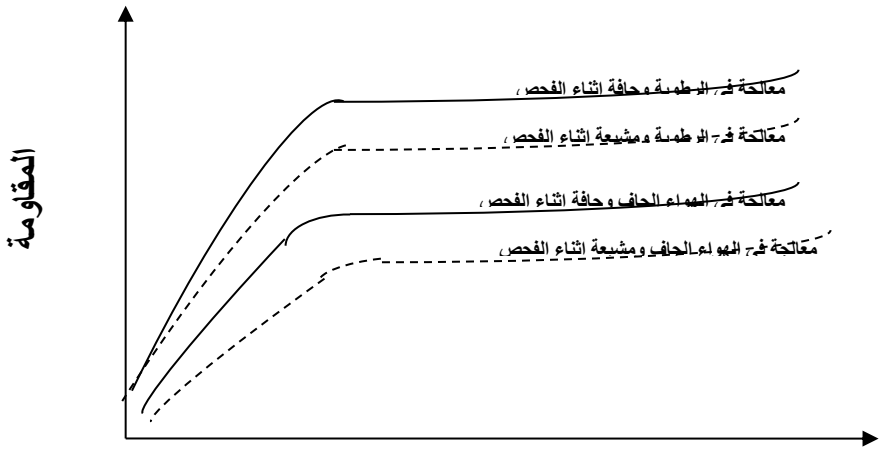
المقاومة في 28 يوم = (1.3 – 1.7) المقاومة في 7 أيام

أن اختبار الضغط بعد ٢٨ يوم لا يعطى قناعة تامة عن حقيقة مقاومة الضغط لبعض أنواع الخرسانة وخاصة تلك المحتوية على إضافات كيميائية مثل معجلات أو مؤخرات التجمد وكذلك تلك المحتوية على مواد بوزولانية مثل غبار السيليكا وفى هذه الحالة ينبغي قياس المقاومة بعد ٥٦ يوم أو ٩٠ يوم على الأقل وذلك حتى تعطى صورة حقيقية عن المقاومة.

المعالجة:-

إن زيادة مقاومة الخرسانة مع الزمن (Strength Gain) يتوقف بدرجة كبيرة على الظروف المحيطة بها وكذلك على ظروف المعالجة من حيث مدتها ودرجتي الرطوبة والحرارة .فكلما زادت فترة معالجة الخرسانة في الرطوبة كلما زادت مقاومتها .كما أن الخرسانة المعالجة في الهواء تظهر مقاومة أقل كثيراً من الخرسانة المعالجة تحت الماء.

إن الخرسانة المعالجة في الهواء مع تعرضها لدورات الجفاف يقيد عملية الإماهة وربما يوقفها ومن ثَمَ تتوقف الزيادة في المقاومة .ولقد أوضحت الاختبارات طويلة المدى على الخرسانة المعالجة في الماء تحت درجة الحرارة العادية أن عملية الإماهة مستمرة حتى أعمار تصل سنوات عديدة ولكن بمعدل متناقص.
أن الخرسانة المعالجة في الماء قد تظهر مقاومة أعلى بمقدار مرتين أو أكثر من مقاومة الخرسانة الغير معالجة. ولقد أوضحت الاختبارات أيضاً أن العينات الخرسانية المعالجة في الهواء ومختبرة في جو جاف تُظهر مقاومة أكبر من العينات المناظرة التي عُرضت للهواء نفس المدة ولكنها شُبعت بالرطوبة قبل الاختبار مباشرة .



شكل (4) معدل زيادة مقاومة الخرسانة مع الزمن في ظروف معالجة مختلفة

طرق المعالجة:-

من الممكن تقسيم طرق المعالجة إلى ثلاثة أصناف عامة هي :-

1- تغطية سطح الخرسانة بطبقة من الماء أو أي مادة رطبة لمنع التبخر. وذلك بالأساليب التالية:-

*- إعداد بركة ماء على الخرسانة بعد تجمدها النهائي.
*- تغطية الخرسانة بالتراب أو القش والمحافظة على رطوبتها.
*- تغطية الخرسانة بنسيج رطب بعد وضعها في مكانها للمحافظة على رطوبتها الدائمية ولأطول فترة ممكنة.

2- استعمال وسط عديم النفاذية لتغطية سطح الخرسانة لمنع أو تقليل فقدان الماء وكما يلي:-

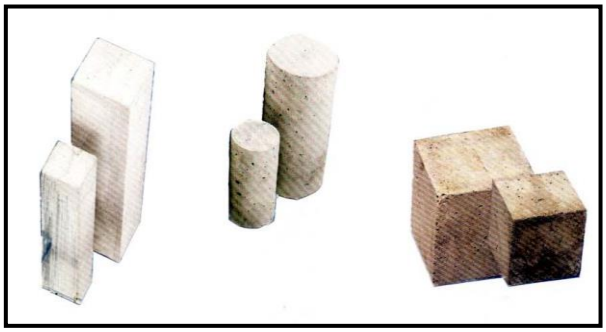
*- تغطية السطح بورق مانع الرطوبة .
*- ترك القالب محاطا" بالخرسانة.
*- تغليف سطح الخرسانة بغلاف عديم النفاذية ويتم ذلك بواسطة الرش.
*- استعمال مواد كيمياوية لتغطية سطح الخرسانة مثل كلوريد الكالسيوم وسليكات الصوديوم.

3- المعالجة المسرعة وذلك برفع درجة حرارة الخرسانة لرفع معدل سرعة حصولها على المقاومة وتستعمل في صناعة الخرسانة المسبقة الصب (Pre-cast Concrete) وبالأسلوب التالي:-

*- المعالجة بالبخار تحت ضغط منخفض.
*- المعالجة بالبخار تحت ضغط مرتفع.
*- تسخين الخرسانة بإرسال تيار كهربائي فيها.

5- تأثير شكل العينات على مقاومة الضغط

هناك ثلاثة أشكال شائعة للعينات الخرسانية التي تستخدم في اختبار الضغط وهى :المكعبة والاسطوانية و المنشورية وقد لوحظ معملياً أن المقاومة المقاسة لخلطة معينة من الخرسانة تختلف باختلاف شكل العينات المختبرة.
أن المواصفات القياسية البريطانية تنص على استخدام العينات المكعبة مقاس (15*15*15)سم بينما تنص المواصفات القياسية الأمريكية على استخدام العينات الاسطوانية مقاس (30*15) سم ومن ناحية أخرى تنص المواصفات القياسية السويسرية على استخدام العينات المنشورية مقاس(30*15*15) سم كما في الشكل رقم (5).
أن مقاومة الضغط للعينة المكعبة أكبر من مقاومة الضغط للعينة الاسطوانية أو المنشورية.



شكل رقم (5) الأشكال المختلفة من العينات الخرسانية المستخدمة في الضغط

ولقد بينت الاختبارات أن العلاقة بين مقاومة الضغط للمكعب ومقاومة الضغط للاسطوانة غير ثابتة لأنها تتغير نتيجة اختلاف مقاومة الخرسانة ومقاس الركام الكبير وعوامل أخرى. ويعتبر تولد قوى الاحتكاك بين سطحي عينة الاختبار ورأس ماكينة الضغط من العوامل المؤثرة على تغير العلاقة بين مقاومة الضغط للعينة المكعبة و الاسطوانية والمنشورية حيث تؤثر قوى الاحتكاك على المقاومة الظاهرية للعينات المكعبة .بينما يحدث الانهيار في العينات الاسطوانية والمنشورية دون تأثير واضح لقوى الاحتكاك وبالتالي نجد دائماً أن مقاومة الضغط للعينة المكعبة أكبر من مقاومة الضغط للعينة الاسطوانية أو المنشورية.
وإذا أخذنا المكعب القياسي (15*15*15) سم كأساس للمقارنة فإن الاختلاف في نتائج اختبار العينات المكعبة و الاسطوانية و المنشورية يكون كما هو موضح بالجدول رقم (2) .

شكل القالب	الأبعاد (سم)	معامل التصحيح
مكعب	10*10*10	0.97
مكعب	15*15*15	1.00
مكعب	20*20*20	1.05
اسطوانة	10*20	1.20
اسطوانة	15*30	1.25

جدول رقم (2) يبين قيم معامل التصحيح للأشكال المختلفة للنماذج.

6- تأثير قياس النموذج على مقاومة الضغط

وجد أن مقاومة الخرسانة للضغط تختلف بالنسبة للعينات المتشابهة في الشكل والمختلفة في الأبعاد ، فكلما زادت الأبعاد تقل مقاومة الضغط المقاسة معملياً(حيث كلما زاد حجم الخرسانة المعرضة للإجهاد كلما زاد احتمال تواجد جزء ضعيف ضمن هذا الحجم وبذلك ستقل مقاومة النموذج مقارنة مع النموذج ذو المقاس الأصغر) . ولقد أدت هذه الظاهرة بالباحثين إلى محاولة عمل توحيد قياسي على أبعاد عينات اختبار الضغط سواء كانت مكعبة أو اسطوانية أو منشورية الشكل.
ومن المعلوم بان نماذج الفحص القياسية والاسطوانية الشكل يكون ارتفاعها مساو إلى ضعف قطرها. ولكن في بعض الأحيان قد تصادف نماذج بنسب أخرى وخاصة في فحص اللباب (Cores Test) المأخوذة من منشأ خرساني حينئذ لابد من تعديل القيمة المستخرجة من الفحص وذلك بضربها بمعامل تصحيح وكما في الجدول رقم (3) أدناه.

أن المقاومة التي نحصل عليها من العينات التي لها نسبة(ارتفاع / قطر) أقل من(٢) تكون أكبر من المقاومة القياسية مما يستدعى ضربها بعامل تصحيح يقل بقيمته عن الواحد الصحيح تبعاً لنسبة(ارتفاع / قطر) . وكما في الجدول رقم (3).

نسبة الارتفاع / القطر	معامل التصحيح للمقاومة	
	المواصفات الأمريكية ASTM C 42-68	المواصفات البريطانية B.S 1881:1970
2.00	1.00	1.00
1.75	0.99	0.98
1.50	0.97	0.96
1.25	0.94	0.94
1.00	0.91	0.92

جدول رقم(3) يبين معامل التصحيح القياسي لمقاومة نماذج اسطوانية ذات نسب مختلفة للارتفاع / القطر

7- ظروف التحميل

تتأثر المقاومة المقاسة لعينات اختبار الضغط بظروف التحميل المؤثرة عليها مثل طبيعة نهايات كلٍ من نموذج الاختبار وجهاز الضغط وكذلك الاحتكاك الناشئ بين سطحي النموذج وجهاز الضغط .وفيما يلي توضيح لتأثير هذه الظروف على نتائج اختبار الضغط.

*- طبيعة نهايات النموذج

في بعض الأحيان يُغطى السطح السفلى والعلوي لنموذج اختبار الضغط بواسطة وسائد لمحاولة التغلب علي خشونة عدم استواء سطح التحميل وتختلف المقاومة المقاسة للنماذج ذات الوسائد عن تلك المقاسة للنماذج العادية بدون وسائد

حيث وُجد أن النماذج ذات الوسائد تُظهر مقاومة أعلى من مقاومة النماذج العادية القياسية وذلك لأن الوسائد تعمل على توزيع الحمل بانتظام على كامل مقطع النموذج المختبرة .ويعتمد اختلاف المقاومة المقاسة على نوع مادة الوسادة وعلى طريقة صبها فوق سطحي العينة.

***- طبيعة أطراف جهاز الفحص**

توضع العينات عند اختبارها بين فكي جهاز الضغط اللذين يشكلان لوحي التحميل المعدنيين ويجب أن تكون مساحة لوح التحميل المعدني مساوية على الأقل أو أكبر من مساحة سطح العينة المعرض للتحميل .ومن المعروف أنه كلما كانت العينة كبيرة او ذات مقاومة عالية جداً فإنه يلزمها ألواح تحميل معدنية سميكة حتى لا تكون هذه الألواح مرنة بالنسبة للأحمال الكبيرة التي ستؤثر عليها مما قد يسبب تركيز الإجهادات على سطح العينة .أما إذا كانت العينة صغيرة وألواح التحميل المعدنية سميكة نوعا ما فإنه يمكن اعتبار هذه الألواح جاسئة تماما بالنسبة للأحمال الصغيرة التي سوف تتعرض لها وبذلك تستطيع هذه الألواح أن تعطى أحمالاً موزعة بانتظام على سطح عينة الاختبار.

***- الاحتكاك بين سطحي النموذج وجهاز الفحص الضغط**

عند تحميل الأسطح الأفقية لنموذج الإختبار ينضغط هذا النموذج رأسيا أو ينكمش بسبب إجهادات الضغط الواقعة عليه بينما تحاول جوانب النموذج أن تتمدد أفقيا إلا أن حركة التمدد الجانبي هذه سوف تقاوَم بواسطة الإحتكاك الذي ينشأ في هذه اللحظة بين لوحي التحميل المعدنين والسطحين الأفقيين لنموذج الإختبار .وتتولد قوى الإحتكاك هذه بقيمة قصوى عند أطراف سطحي النموذج وتقل قيمتها تدريجيا كلما إتجهنا إلى الداخل حتى تتلاشى تماماً.
ولقد وجد أن الإحتكاك الناشئ بين سطحي النموذج وفكي جهاز الفحص يؤثر تأثيراً بالغاً على نتائج الإختبارات ويلعب دوراً كبيراً في الإختلاف الملحوظ في نتائج إختبارات النماذج الخرسانية ذات الأشكال والمقاسات المختلفة ويرجع هذا إلى أن قوى الإحتكاك المتولدة تحاول أن تقاوم الإنفعال الجانبي للنموذج وبذلك فهي - بطريقة غير مباشرة - تقاوم الإنفعال الرأسي الناتج عن التحميل وبذلك تكسب النموذج مقاومة زائدة لأحمال الضغط مما يسبب تسجيل مقاومة أعلى للنموذج على تدريج جهاز الفحص.
ويلاحظ أن تأثير قوى الإحتكاك المتولدة بين سطحي النموذج وفكي جهاز الإختبار يظهر في النماذج المكعبة بوضوح بالمقارنة مع النماذج المنشورية حيث أنه تنعدم إجهادات الإحاطة على جوانب المنشور في المنطقة القريبة من منتصف الارتفاع بينما لا تنعدم هذه الإجهادات على جوانب المكعب تقريباً مما يسبب تقوية زائدة للمكعب .وتشبه إجهادات الإحاطة في حالة الأسطوانة مثيلتها في حالة المنشور .وذلك يفسر ميل العينات المكعبة بصفة دائمة إلى إظهار مقاومة ضغط أعلى من المقاومة التي تظهرها عادة الإسطوانة أو المنشور .كذلك يزيد تأثير قوى الإحتكاك وإجهادات الإحاطة الناتجة عنها لنفس النماذج المكعبة كلما صغُر مقاس ذلك النموذج وبذلك تظهر النماذج المكعبة صغيرة المقاس مقاومة أعلى من المقاومة التي تظهرها العينات المكعبة كبيرة المقاس.

***- معدل التحميل**

عند إختبار عينات الضغط لوحظ أنه كلما أسرعنا من معدل التحميل فإن هذه العينات تُظهر مقاومة أعلى للضغط . ولذلك فإنه ينبغي أن تحمل العينات الخرسانية المكعبة بحمل ضغط بحيث لا ينتج عنه أي صدم على العينة ثم يزداد الحمل تدريجيا بمعدل (14) نت/مم2/دقيقة حتى لحظة تسجيل العينة لأقصى حمل على جهاز الاختبار.

***- اتجاه التحميل**

عند اختبار العينات المكعبة فإن تحميلها في جهاز الضغط يكون إما في إتجاه الصب أو في الإتجاه العمودي عليه ويؤثر إتجاه تحميل العينة بالنسبة لإتجاه الصب تأثيراً واضحاً على مقاومة العينة للضغط .ويُلاحظ أنه بالنسبة للعينات

الإسطوانية أو المنشورية الشكل فإن إتجاه التحميل يكون دائماً في إتجاه الصب بينما يكون إتجاه التحميل في العينات المكعبة عمودياً على إتجاه الصب وذلك بغرض جعل الأسطح المصقولة للمكعب ملامسة لرأس جهاز الإختبار .ولقد أظهرت بعض الأبحاث التي أُجريت بهذا الشأن أن العينات التي تختبر بحيث يكون إتجاه التحميل المؤثر عليها مطابقاً لإتجاه الصب تُظهر مقاومة أكبر بحوالي 8% من المقاومة التي تُظهرها العينات التي تُختبر بإتجاه تحميل عمودي على إتجاه الصب.
وقد يرجع سبب ضعف المقاومة للمكعبات القياسية التي تختبر في إتجاه عمودي على إتجاه الصب إلى أن مركز ثقل المكعب الخرساني في هذه الحالة يكون مزحزحاً عن محور التحميل بسبب ميل هذا المركز لأن يكون قريباً من الطبقات الأفقية السفلى أثناء عملية الصب مما يسبب لا مركزية في التحميل تضعف المقاومة المقاسة نظراً لتولد إجهادات الإنحناء.

فحص مقاومة الضغط

الغرض من الاختبار Purpose

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 الفحص:- 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- تؤشر العينات الخرسانية بعد ذلك ثم تفك من القوالب وتُغمر في الحال في ماء نقى درجة حرارته حوالي 15-20درجة 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

العلاقة بين مقاومتي الشد والضغط

تتحمل الخرسانة العادية المتصلبة مقاومة الضغط بدرجة كبيرة ولذلك يجرى تصميم الخرسانة بإعتبارها تقاوم إجهادات الضغط أساساً أما بالنسبة لمقاومتها لقوى الشد (سواء المباشر أو غير المباشر) فإنها تعتبر ضعيفة المقاومة للشد إذا ما قورنت بمقاومتها للضغط ويرجع هذا لكونها مادة قصيفة (Brittle) ومع ذلك إهتم الباحثون بمقاومة الشد

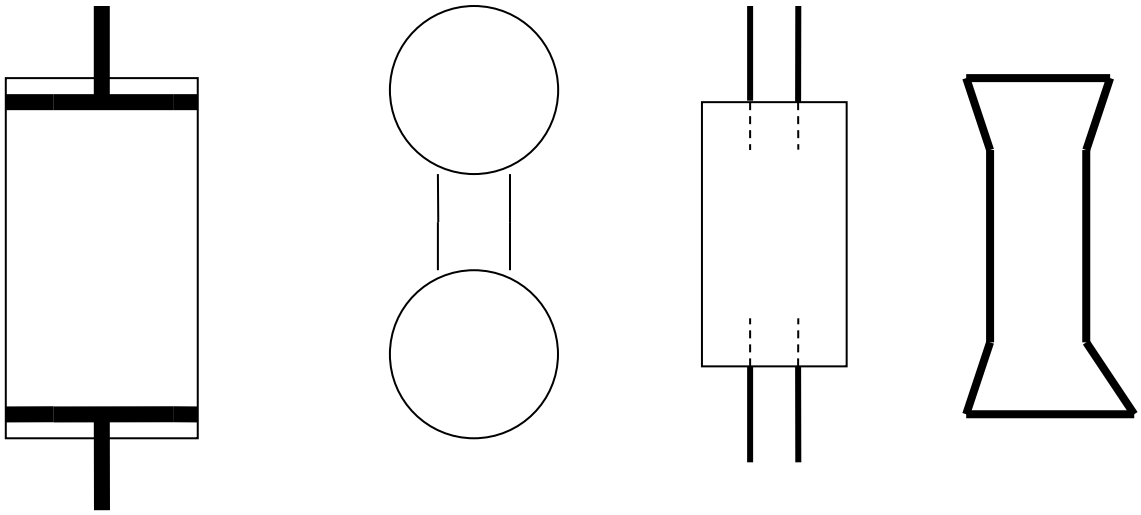
في الخرسانة لأن حدوث معظم التشققات والشروخ فيها ناتج عن صغر مقاومتها للشد .ومقاومة الشد في الخرسانة تتراوح ما بين ٧ -١١ % من مقاومتها للضغط وتختلف هذه النسبة تبعاً لعمر الخرسانة ويلاحظ أنه كلما زادت مقاومة الخرسانة للضغط كلما قلت الزيادة النسبية لمقاومة الشد.

فحص 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

فحص الشد الغير المباشر(شد الانشطار)_Indirect Tensile Strength

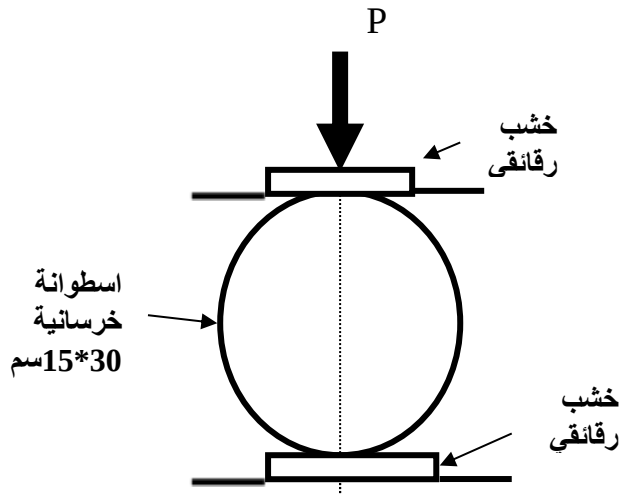
عينة الاختبار القياسية عبارة عن إسطوانة خرسانية قطرها ١٥ سم وطولها ٣٠ سم حيث توضع هذه الإسطوانة بين رأسي ماكينة الإختبار في وضع أفقي وعلى جانبيها بين شريحتين من الخشب أو المطاط بعرض ٢ سم تقوم هذه الشرائح بتوزيع قوة الانضغاط على عرض قليل والذي يكفي لتجنب أي تركيز غير مقبول للإجهاد وكذلك يعوض عن أي عدم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

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.

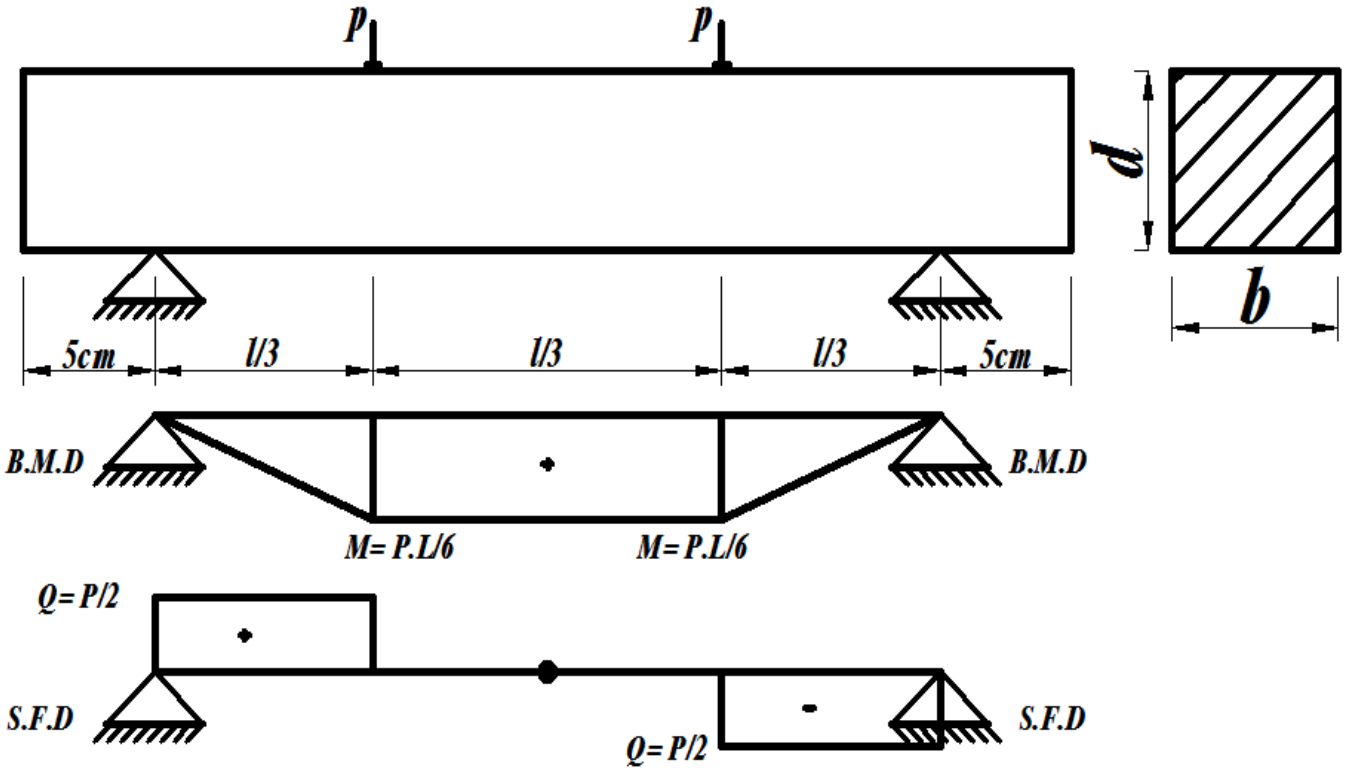
توضع القوالب في ماكينة الإختبار على ركيزتين كما هو مبين في شكل رقم (9) ويراعى أن يكون كل من قضيب الإرتكاز والتحميل بطول أكبر من عرض العتبة كما يكون التحميل تدريجيا وبمعدل منتظم يؤدى إلى الوصول بالقيمة النهائية للحمل في مدة حوالي ٥ دقائق.

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).

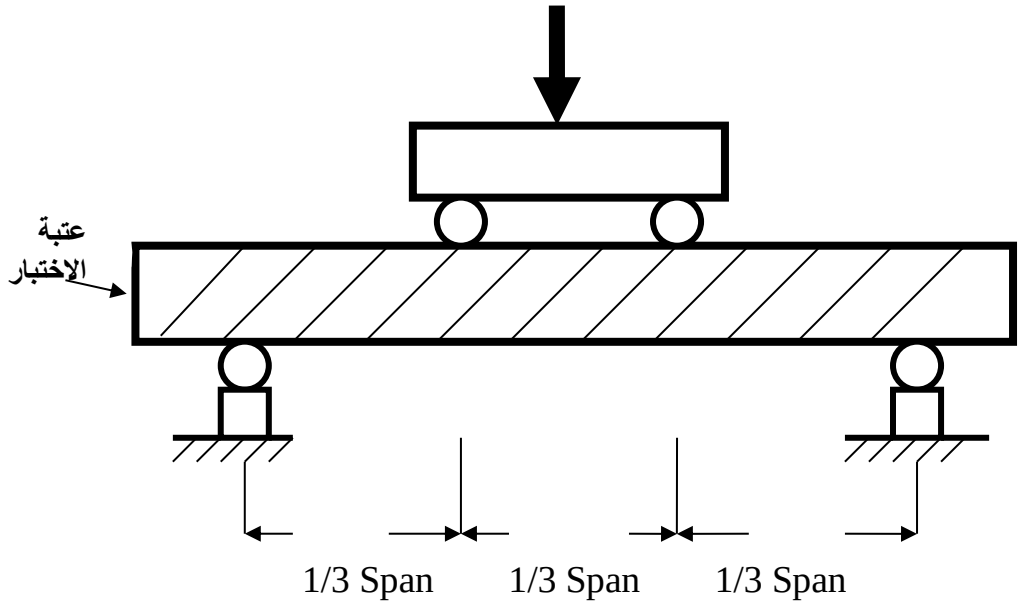
يتم حساب إجهاد الكسر (F_{tb}) : حسب موقع الانهيار من المعادلة :

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

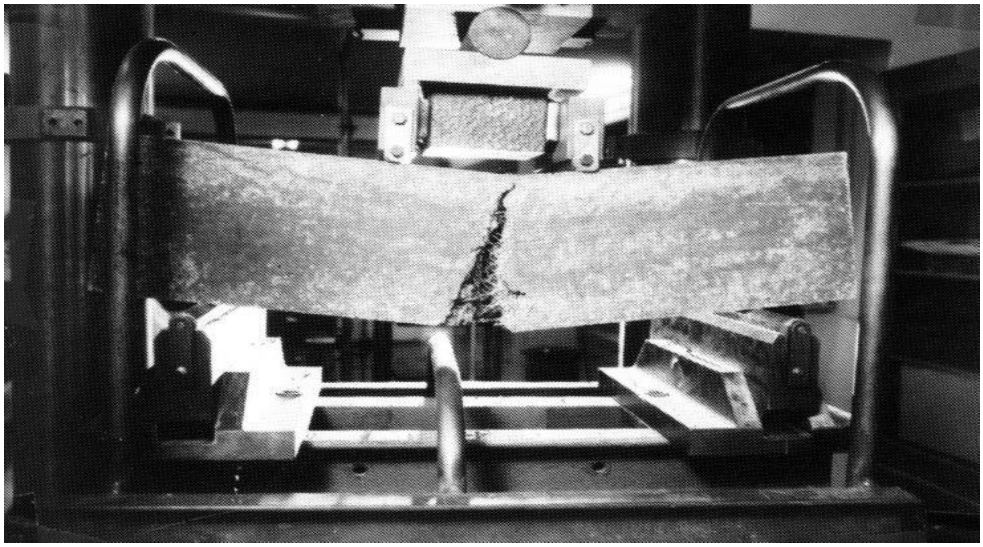
2- $F_{tb} = \frac{3*P_{max}.a}{b.d^2}$ **(في حالة الكسر خارج الثلث الأوسط من العينة $a \leq 0.05L$)**



الحمل المؤثر P



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.

4- مقاومة القص Shear Strength

لا يمكن تعيين مقاومة القص في حالة الخرسانة بقيمة صحيحة تماماً نظراً لأن قوى القص المباشرة(قوتين متساويتين ومتوازيتين ومتعاكستين تؤثران على مستويين على مسافة صغيرة جداً من بعضهما) تكون دائما مصحوبة بعزم إنحناء أي بإجهادات شد وضغط لذلك فمن النادر إجراء إختبار مقاومة القص المباشر للخرسانة وخصوصاً أنه في إستعمالات الخرسانة نادراً ما تتعرض للقص الخالص Pure Shear وإنما تتعرض للقص المصحوب بإنحناء.
أن كسر العنصر الخرساني يكون غالباً نتيجة تأثير الشد القطري Diagonal Tension وليس بتأثير القص نظراً لأن الخرسانة ضعيفة في الشد عنها في القص .ولقد وجد أن مقاومة القص في الخرسانة أكبر من مقاومتها للشد بحوالي 20-30 % أي أنها حوالي 10 إلى 12 % من مقاومة الضغط .

5- مقاومة التماسك Bond Strength

مقاومة التماسك هي مقاومة الخرسانة لانزلاق سيخ التسليح الملتصق بها والموجود بداخلها ويعتبر تماسك أسياخ الحديد مع الخرسانة هو أساس فكرة التصميم الإنشائي للأعضاء الإنشائية من الخرسانة المسلحة ويتم هذا التماسك بواسطة:

*- الإلتصاق مع الخرسانة Adhesion
*- قوى الإحتكاك بين السيخ والخرسانة Friction
*- التحميل على النتوءات البارزة في الأسياخ Bearing

إن مقاومة الشد في الخرسانة واطئة حيث لا تتحمل اجهادات عالية في الشد ولهذا الغرض يستعمل حديد التسليح فيها لمساعدتها في تحمل الاجهادات وخاصة عند تشققها.
وتعتمد مقاومة التماسك بين الكونكريت والحديد على:-

1- خواص الخرسانة (نوعية الخرسانة, ومقاومتها, العمر, درجة الرص, نسبة W/C, درجة الحرارة).
2- خواص الحديد (شكل سطحه من حيث وجود نتوءات أم كون الحديد أملس) .
3- مساحة التلامس بين الخرسانة والحديد.

ومن البديهي أن تكون مقاومة التماسك أكبر في حالة الأسياخ ذات النتوءات عنها في حالة الأسياخ الملساء.
وفي حالة الأسياخ ذات النتوءات(المشوه) فان مقاومة التلاصق تعتمد على :-

1- نوع النتوءات.
2- عمق النتوءات.
3- بعد النتوءات بعضها عن بعض.

4- زاوية ميلان النتوء عن السطح الأفقي.

طريقة الفحص

ويجرى إختبار تعيين مقاومة التماسك بين الخرسانة وحديد التسليح بواسطة فحص السحب (Pull out test) وذلك بتحديد الحمل المسبب لإنهيار وإنزلاق سيخ حديد التسليح داخل الخرسانة.
وتتلخص عملية الفحص بسحب قضيب حديدي قطره 19 مم مثبت بصورة عمودية بمكعب خرساني من إحدى نهايتيه والتي تدعي بالنهاية المحملة . يتم السحب بمعدل قوة معلومة ويقاس الانزلاق في النهايتين المحملة والسائبة بفترات مناسبة خلال تسليط الحمل وذلك بواسطة مقاس مدرج ذو حساسية عالية ويستمر تحميل النموذج لحين حصول نقطة الخضوع (Yield point) في حديد التسليح أو انفلاق الخرسانة أو حصول انزلاق مقداره 0.25 مم في النهاية المحملة .
وتعتبر العلاقة بين مقاومة التلاصق والانزلاق كمعيار على نوعية التلاصق في هذا الفحص.

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 ثبُتت 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
= 1152 x 1.02
= 1175 كغم
وزن الركام الناعم المعدل = 1.06 x وزن الركام الناعم التجريبي المستخرج
= 811 x 1.06 = 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 \ $م^3$

الفصل السابع

أنواع الخرسانة
Types of Concrete

انواع الخرسانة

يوجد العديد من أنواع الخرسانة ويمكن تصنيف أهم هذه الخرسانات كما يلي:

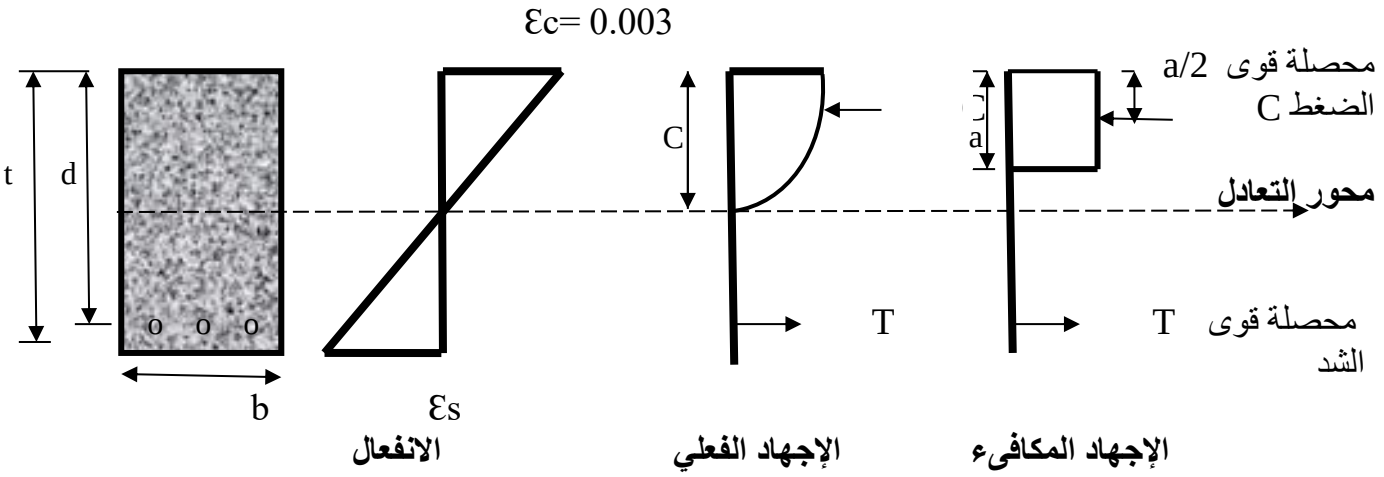
1- الخرسانة العادية	Plain Concrete
2- الخرسانة المسلحة	Reinforced Concrete
3- الخرسانة مسبقة الجهد	Prestressed Concrete
4- الخرسانة المسبقة الصب	Precast Concrete
5- الخرسانة العالية المقاومة	High Strength Concrete
6- الخرسانة الليفية	Fibrous Concrete
7- الخرسانة البوليميرية	Polymer Concrete
8- الخرسانة المقذوفة	Shot Crete Concrete
9- الخرسانة الخفيفة	Light-Weight Concrete
10- الخرسانة الثقيلة	Heavy-Weight Concrete
11- الخرسانة الكتلية	Mass Concrete

1- الخرسانة العادية Plain Concrete

وهى خرسانة بدون أي حديد تسليح وتستخدم في أعمال الفرشات الخرسانية تحت الأساسات والأرصفة وعمل الكتل الخرسانية الغير معرضة لإجهادات شد وعمل الأرضيات والسدود. ومقاومتها تتراوح من ١٥ إلى ٢٥ نت/مم٢ حسب الغرض المستخدمة من أجله. ويمكن تحسين بعض الخواص فيها لكي تناسب غرض الاستخدام ، مثلاً أن تكون مقاومة للكبريتات التعرية .

2- الخرسانة المسلحة Reinforced Concrete

وهى خرسانة عادية ويشترك معها حديد تسليح لمقاومة إجهادات الشد وهذا النوع من الخرسانة هو الأكثر شيوعاً واستخداماً في العالم وذلك لسهولة تنفيذه ورخص تصنيعه. ويمكن أن يُصب في الموقع مباشرة (Cast in place) أويُصب في المصنع لعمل وحدات خرسانية جاهزة (Pre cast). وينبغي تحقيق الاتزان Equilibrium والتوافق compatibility بين الإجهادات و الانفعالات في كل من الخرسانة و الحديد.
ومعظم كودات التصميم تهمل تماماً مقاومة الخرسانة للشد وبالتالي فإن الحديد يتحمل كل قوى الشد المؤثرة ، أما الخرسانة فتتحمل قوى الضغط. والشكل رقم (1) يوضح توزيع الإجهادات والانفعالات على قطاع مستطيل من الخرسانة المسلحة.



شكل (1) الإجهاد والإنفعال لعنصر من الخرسانة المسلحة ذو قطاع مستطيل معرض لعزم إنحناء.

3- الخرسانة مسبقة الجهد Pre stressed Concrete

وهى خرسانة عادية يتم إكسابها إجهادات ضغط قبل تحميلها وهذه الإجهادات تكون كفيلة بملاشاة إجهادات الشد الناتجة من تأثير الأحمال وبالتالي لا نحتاج إلى حديد تسليح حيث تكون المحصلة النهائية للإجهادات على طول القطاع الخرساني بعد التحميل (التشغيل) هي غالباً إجهادات ضغط وبالتالي تكون الخرسانة كفيلة بتحملها. وبناءاً عليه يجب أن تكون الخرسانة ذات مقاومة عالية للضغط تتراوح من 35 إلى 60 نت/ مم٢ وذلك حتى يمكنها تحمل إجهادات ضغط التصنيع وإجهادات ضغط التشغيل. وأسياخ الحديد المستخدمة في الخرسانة سابقة الإجهاد تسمى كابلات (Tendons) وهى عبارة عن أسلاك (Wires) أو حبال مجدولة من مجموعة Strands أو قضبان من الحديد Bars. وتمتاز الخرسانة سابقة الإجهاد بقلة الشروخ السطحية مع مقاومة عالية للأحمال. وهى مناسبة للاستخدام في الجسور والمستودعات المائية والوحدات الجاهزة.

4- الخرسانة المسبقة الصب Precast Concrete

تصب الخرسانة وتعالج حتى تمام تصلدها في المصنع ثم بعد ذلك تنقل إلى المنشأ وممكن أن تكون خرسانة عادية أو مسلحة أو سابقة الإجهاد وتشمل البلاطات والأعمدة والجدران والبلوكات الخرسانية ووحدات الأسوار والسلالم.
وفيها يتم التحكم في عملية جودة الخرسانة والتصنيع مثل:

١- استخدام ركام جيد متدرج ٢- تقليل الماء
٣- إجراء الرص والخلط ميكانيكا" ٤- معالجة بالبخار
٥- استخدام إضافات للتلوين ٦- استخدام المواد العازلة المطلوبة

وتوضح الأشكال 2(أ- ب- ج- د) بعض التطبيقات التي تستخدم فيها الخرسانة سابقة الصب بنجاح. وعند تصنيع العناصر المختلفة من الخرسانة الجاهزة فيجب الأخذ في الاعتبار كافة الأحمال الخارجية المؤثرة على العنصر في مراحل التصنيع والتخزين والنقل و التركيب والتنفيذ والاستخدام.

شكل (2-أ) سور من الخرسانة سابقة الصب

شكل(2- ب) مجارى خرسانية لتصريف مياه الأمطار

شكل (2-ج) سلالم خرسانية سابقة الصب

شكل(2- د) حلقات خرسانية لأعمال الانفاق

5- الخرسانة العالية المقاومة High Strength Concrete

وهى خرسانة ذات مقاومة تزيد عن 60 نت/ مم٢ وقد تصل أو تزيد عن 140 نت/مم٢ ويمكن الحصول عليها باستخدام المواد المحلية المتاحة والتي تستخدم في صناعة الخرسانة التقليدية(25 نت/ مم٢) من ركام وأسمنت وماء إلا أن الخرسانة عالية المقاومة تحتوى على مادة إضافية أخرى وهى الملدنات (Superplasticizers) وذلك حتى يمكننا تقليل ماء الخلط إلى أقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على المقاومة العالية.
أما المواد البوزولانية مثل مادة غبار السليكا(Silica fume) فقد توجد أولا توجد في كلٍ من نوعىّ الخرسانة.

خصائص المواد للخرسانة عالية المقاومة

***- الركام الخشن:-**
يجب أن يكون قوى ومتين لأنه يعمل كعامل يحدد مقاومة الخرسانة القصوى حيث أن الشروخ في حالة الخرسانة عالية المقاومة تمر خلال حبيبات الركام الكبيرة وليس حولها كما في حالة الخرسانة التقليدية. وقد وجد أن الخرسانة المصنوعة من حجر الكرانيت او الدولوميت) تعطى مقاومة أكبر بحوالي 10 إلى 20 % من تلك المصنوعة من الحصو.

***- الركام الناعم:-**
يجب أن يكون خشن نوعاً ما حيث يكون معاير النعومة له من 2.8 إل 3.0 وذلك لأن الخلطة تكون غنية بالمواد الناعمة مثل الأسمنت وغبار السليكا إن وجدت.

***-الأسمنت:-**
يجب أن يكون عالي الجودة وأن يكون متوافق مع أي إضافات مستخدمة. ويعتمد ذلك على خصائص وكميات ونسب باقي المكونات وعما إذا كانت الخلطة تحتوى على مادة غبار السليكا أم لا.

***- غبار السليكا Silica fume**:-

وهى مادة بوزولانية تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات الكالسيوم والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية وبالتالي زيادة المقاومة وتحسين النفاذية.

وعموماً فإن الزيادة في مقاومة الضغط بتأثير مادة غبار السيليكا قد لا تتجاوز20 %. وتجدر الإشارة أن النسبة المثلى من غبار السيليكا تتراوح من 10 إلى 15 % من وزن الأسمنت.

***- الملدنات Super plasticizers**:-

وهى أهم مكون للحصول على خرسانة عالية المقاومة حيث بواسطتها نستطيع خفض نسبة ماء الخلط إلى 0.25 من وزن الأسمنت فقط وبالتالي يمكننا الحصول على أعلى مقاومة. ويجب عمل تحقيق وتأكد من مدى توافق هذه المادة مع الأسمنت المستخدم.

تطبيقات الخرسانة عالية المقاومة

ظل استخدام الخرسانة عالية المقاومة فترة طويلة محصوراً في عدة تطبيقات تقليدية Classical Applications هدفها الأوحد هو استغلال قيمة المقاومة العالية في الحصول على أقل مساحة قطاع وأقل حجم للمنشأ وكذلك أقل وزن للمنشأ. ولذلك كانت هذه التطبيقات محددة في ثلاثة أشياء رئيسية هي:-

* المباني عالية الارتفاع High Rise Buildings
* الجسور Bridges
* المنشآت البحرية Offshore Structures

وحديثاً تم استخدام الخرسانة عالية المقاومة في تطبيقات أخرى متنوعة وهذه التطبيقات قد تأخذ اسم "تطبيقات غير تقليدية Non-Classical Applications ومن هذه التطبيقات:-

* محطات الطاقة النووية Nuclear Power Plants
* الأنابيب الخرسانية تحت الأرض Underground Concrete Pipes
* الأرصفة والطرق Pavements
* استخدامها مع قطاعات الحديد لزيادة جساءة المنشأ Improving Stiffness

المميزات العامة للخرسانة العالية المقاومة

1- مقاومة الضغط فيها من 60 إلى 140 نت/مم٢(5-7 مرات مقاومة الخرسانة التقليدية).

٢- معامل المرونة يساوى تقريبا مرتين إلى مرتين ونصف معامل المرونة للخرسانة التقليدية مما يساعد في تقليل الانحناء Deflection والتشكل Deformation.

٣- تمتاز بمتانة عالية Durability ومقاومة للاحتكاك ومقاومة للكيماويات.

٤- الفوائد الناتجة منها (مثل تقليل القطاعات وزيادة الفضاءات وتقليل الوزن) أكثر من الزيادة في تكاليف إنتاجها.

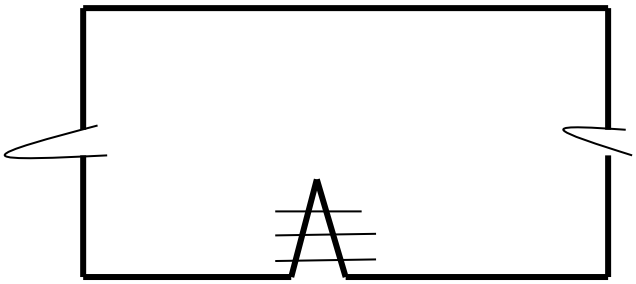
ومن عيوب الخرسانة عالية المقاومة أنها أكثر قصافة Brittleness من الخرسانة التقليدية والانهيار بها مفاجئ حيث يكون الكسر فيها خلال الركام الكبير وليس حوله كما في الخرسانة التقليدية ويمكن التغلب على هذه المشكلة بطرق عديدة منها استخدام الألياف مع الخرسانة. كذلك فإن استخدام الخرسانة عالية المقاومة يتطلب درجة عالية من ضبط الجودة والتحكم فيها.

6- الخرسانة الليفية Fibrous Concrete

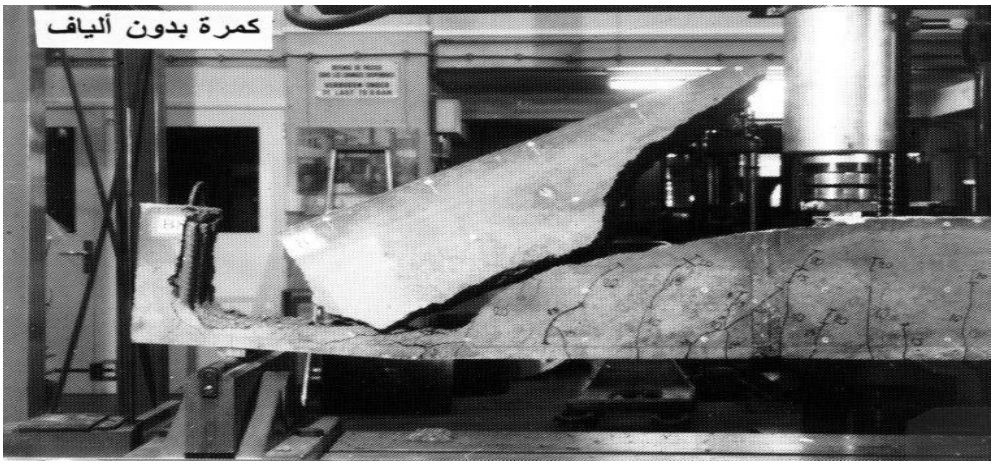
وهى الخرسانة المصنوعة من الأسمنت والركام و المحتوية على ألياف غير مستمرة و موزعة توزيعاً عشوائياً في جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية وتنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع:-

- ألياف الحديد وهى قطع من الحديد بطول (3-8) سم وقطر من (0.5-0.8) مم .
- الألياف الصناعية مثل ألياف البولي بروبلين والبوليستر والبوليثيلين وتأخذ نفس شكل ألياف الحديد ولكنها مصنعة من مواد صناعية.

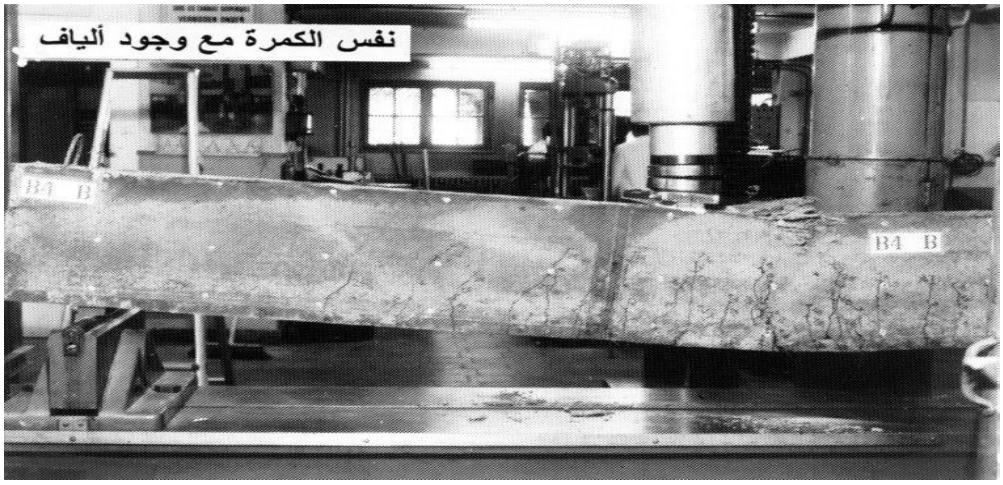
والألياف لها القدرة على تحسين مقاومة الخرسانة في القص والشد والانحناء والصدم والانكماش. كما أنها تعمل على تقليل اتساع الشروخ وإعادة توزيعها كما يتضح ذلك في الشكل (3)، ولكن الألياف لا تؤثر بدرجة كبيرة على مقاومة الضغط.
وأهم وظيفة للألياف أنها تزيد من قيمة معامل الصلابة Toughness للمادة زيادة كبيرة جداً. وبالتالي فهي تحول ميكانيكية الكسر في الخرسانة من كسر قصف مفاجئ وخطر Dangerous Sudden Failure إلى كسر غير قصف وتدريجي Ductile Failure .
والشكل رقم (4 , 5) يبين مقارنة بين عتبتين متشابهتين من الخرسانة المسلحة أحدهما بدون ألياف والأخرى تحتوى على ألياف. ويتضح التأثير الكبير والفعال للألياف في مقاومة قوى القص وزيادة معامل الصلابة Toughness .
وتستخدم الخرسانة الليفية على نطاق واسع في الطرق والمطارات والمنشآت العسكرية وتستخدم الألياف أيضاً في السلالم الخرسانية والوحدات سابقة الصب و في العناصر الخرسانية المعرضة لقوى القص والصدم.
وبالرغم من أن الألياف تزيد من مقاومة قوى الشد في الانحناء إلا أن هذه الزيادة غير جديرة بالاعتبار وبالتالي فإنه ليس من الحكمة أن تستخدم الألياف كبديل كلى أو عوضا" لأسياخ حديد التسليح.



شكل رقم (3) دور الألياف في تقليل اتساع الشروخ وإعادة توزيعها.



شكل رقم (4) عتبة بدون الياف



شكل رقم (5) تأثير الألياف الفعال فى مقاومة قوى القص وزيادة الصلابة.

7- الخرسانة البوليميرية Polymer Concrete

البوليمر أو الراتنج هو إسم لمادة عضوية تتكون من العديد من الجزيئات المتشابهة ذات الوزن الجزيئي المرتفع والجزيء الواحد من هذه الجزيئات يسمى مونومر.
أما الخرسانة البوليميرية فهي خرسانة خاصة يتم الحصول عليها بمعاملة الخرسانة العادية بمواد البوليمر التي تعمل كمواد لاحمة أومالئة للفراغات بين حبيبات الركام. وتمثل المواد البوليمرية حوالى 6 - 15% من وزن الخرسانة ومن أمثلتها مواد أو مركبات البوليستر Polyester والأيبوكسى Epoxy.
وقد تصل تكاليف خرسانة البوليمر حوالى من 2 - 3 مرات تكاليف الخرسانة العادية وتمتاز بالآتي:

- مقاومة عالية للعوامل الخارجية مثل مقاومة التآكل ونفاذ الماء والمقاومة للكبريتات.
- مقاومة عالية جداً للإنكماش.
- مقاومة ضغط عالية قد تصل إلى 120 نت/مم٢
- مقاومة شد تصل إلى 100 نت/مم٢

8- الخرسانة المقذوفة Shot Crete Concrete

هي خرسانة (أو مونة اسمنت) تقذف بضغط الهواء من فوهة القاذف بسرعة عالية إلى السطح المراد تغطيته بالخرسانة. وتستخدم غالبا في أعمال الإصلاحات والترميم Repair وتبطين الأنفاق Tunnels وتبطين الترع وفى كثير من الأحوال التي يصعب فيها إستخدام الطرق التقليدية في الصب فمثلاً عندما يكون مطلوب صب طبقات غير سميكة أو متغيرة السمك أو عندما يصعب الوصول إلى منطقة العمل أو عندما يكون إستخدام القوالب صعباً أو مكلفاً. كما تستخدم الخرسانة المقذوفة في إصلاح الخرسانة المتساقطة في الجسور والسدود والمنشآت المواجهة للمياه وكذلك مباني الطابوق المتآكلة. كما تستخدم في تبطين الأفران بكافة أنواعها.

ويوجد نوعين رئيسيين لطريقة تنفيذ الخلطة ، أسلوب الخلط الجاف وأسلوب الخلط المبتل. ففى الطريقة الجافة يتم خلط الركام و الأسمنت وأي مكونات أخرى على الجاف أولاً وتدفع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف ثم يضاف الماء عند فوهة القاذف ويدفع الجميع إلى السطح المراد صبه. كما في الطريقة الرطبة فيتم خلط جميع المكونات بما فيها الماء خلطاً جيداً أولاً (ماعدا معجلات التجمد إن وجدت) ويدفع الجميع بإستخدام ضغط الهواء خلال القاذف إلى السطح المراد قذفه. وفى جميع الأحوال يلزم إعداد السطح المقذوف عليه الخرسانة لضمان جودة ترابطها معه. ويمكن القول أن خواص وسلوك الخرسانة المقذوفة يعتمد كثيراً على صفات المعدات المستخدمة وعلى مهارة القائمين بها كما يعتمد على الظروف التي يتم بها الصب.

و تتميز خلطة الخرسانة المقذوفة بإحتوائها على محتوى أسمنت أعلى لتعويض نسبة الفقدان منه عند الإرتداد من السطح. كذلك فإن ركامها يتميز بصغر المقاس حيث يفضل أن لا يزيد عن 12 مم. كما أنها قد تحتوى على إضافات معينة لتحسين بعض الخواص المرغوبة وغالباً فإن الخرسانة المقذوفة تحتوى على المعجلاتAccelerators وذلك لتسريع عملية التجمد للخرسانة المقذوفة. ويفضل أن تكون فوهة القاذف عمودية على السطح المقذوف ولا تتعدى زاوية ميل القاذف على السطح ٤٥ درجة وذلك لضمان التوزيع المنتظم للخرسانة ولتجنب حدوث تكور و دحرجة للخرسانة على السطح مما يؤدى إلى سطح متعرج غير منتظم. كما يفضل أن تكون المسافة بين فوهة القاذف والسطح فى حدود 0.6إلى 1.8 متر. والشكل رقم (6) يوضح إستخدام الخرسانة المقذوفة و التحكم فى القاذف.

شكل رقم (6) إستخدام الخرسانة المقذوفة و التحكم فى القاذف.

9-الخرسانة الخفيفة Lightweight Concrete

من أهم عيوب الخرسانة التقليدية (2000- 2500 كغم/م٣) كمادة إنشائية بالمقارنة مع الخشب والحديد أن الخرسانة التقليدية ثقيلة الوزن نسبياً حيث تكون نسبة الوزن الذاتي لأجزاء المبنى Own weight بالمقارنة مع الأحمال المؤثرة هي نسبة عالية في جميع الأحوال.
ولذلك تم التفكير في إنتاج وإستخدام خرسانة خفيفة وزنها أقل من 2000 كغم/ م٣. ولذلك فقد أمكن تصنيع خرسانة إنشائية تزن 1400- 1900 كغم/م ^{3}بزيادة بسيطة في التكاليف وكذلك إنتاج خرسانة نصف انشائية للبلوكات الداخلية تزن 900 كغم/م ٣ وتستعمل بكفاءة كجدران داخلية. وعموماً فإن الخرسانة الخفيفة هي تلك التي يقل وزنها عن 2000 كغم/ م ^{3} والغرض من إستخدامها هو تقليل وزن المنشأ وبالتالي تقليل تكاليف الأساسات وكذلك لأغراض العزل الحرارى والصوتي.

انواع الخرسانة الخفيفة

يمكننا تخفيض وزن الخرسانة عن طريق واحد أو أكثر من الطرق الآتية:

١- إيجاد فراغات بين حبيبات الركام (خرسانة خالية من المواد الناعمة Finless Concrete)
٢- إيجاد فراغات داخل الركام (خرسانة ذات ركام خفيف Lightweight Aggregate Concrete)
٣- إيجاد فراغات داخل العجينة الأسمنتية (الخرسانة المهواة أو الخلوية Cellular Concrete)

١- خرسانة خالية من المواد الناعمة Finless Concrete

تتكون من الأسمنت والركام الكبير فقط وأحيانا يستخدم فيها الهواء عن طريق إضافة مواد رغوية أو بإستعمال تدرجات خاصة من الركام. والركام الكبير يمكن أن يكون حصو أو أحجار مكسرة أو ركام خفيف. وينحصر تدرج الركام بين 10 مم ، 20 مم ولا تتعدى نسبة المار من المنخل الصغير عن 5% وهذا النوع من الخرسانة ذو كثافة تتراوح من 2/3 الى3/4 كثافة الخرسانة التقليدية المصنوعة من نفس الركام. وهذا النوع يحتاج إلى تصميم دقيق وخصوصاً بالنسبة لمحتوى الماء.

2- خرسانة ذات ركام خفيف Lightweight Aggregate Concrete

خرسانة الركام خفيف الوزن هي أكثر أنواع الخرسانات الخفيفة شيوعاً وإستخداماً إذ يمكن إستعمالها كخرسانة إنشائية. والركام المستخدم في الخرسانة الإنشائية الخفيفة هو في أغلب الأحوال ركام صناعي.

5- الخرسانة المهواة أو الخلوية Cellular Concrete

وفى هذا النوع تتكون فقاعات من الغازات والهواء في وسط الخرسانة وهى فى الحالة الطازجة ويظل لتركيب مسامى بعد أن تتماسك الخرسانة. والطريقتين الرئيسيتين لإنتاج هذا النوع هما:
أ - انتاج غازات في الخلطة بتفاعلات كيميائية
ب- إضافة مواد رغوية للخلطة.
ومن المواد الشائعة المولدة للغازات المسحوق الناعم من بودرة الألمونيوم أو بودرة الزنك (0.2 % من وزن الأسمنت) وعند خلطها بالأسمنت تتكون فقاعات من الهيدروجين فتنتفخ الكتلة مكونة عند تصلدها مادة ذات تركيب خلوي. وتجدر الإشارة إلى أن هناك علاقة طردية بين وزن الخرسانة ومقاومتها للضغط.

10- الخرسانة الثقيلة Heavy Weight Concrete

وهى خاصة بالوقاية من الإشعاع الذرى والنووي حيث تتناسب قدرة الخرسانة لإمتصاص هذه الإشعاعات مع وزنها أو كثافتها وبالتالي تكون جدران وبلاطات الأرضيات والأسقف من الخرسانة الثقيلة. وتصنع الخرسانة الثقيلة من ركام من مواد ثقيلة من خامات الحديد أو خام ، الرصاص. وتجدر الإشارة أن خام الحديد يعطى خرسانة وزنها من 3000 إلى 4000 كغم/م ^{٣} وقد تستخدم قطع من الحديد كركام وتصل كثافة خرسانته الى 5600 كغم/م ^{٣}
ونظراً لأن الركام المكون من قطع الحديد يميل دائماً إلى الإنفصال عند خلطه أو صبه بالطرق التقليدية فإنه يفضل إستخدام الخرسانة الثقيلة سابقة الرص Prepacked Concrete والتي تعتبر أكثر مناسبة في هذه الحالة. وتصنع الخرسانة سابقة الرص من دفع وضخ المونة خلال فراغات ركام نظيف ومرصوص جيداً و مشبع بالماء. وعندما تضخ المونة خلال القوالب فتزيح ما بها من ماء وهواء وتملأ الفراغات وبذلك تنتج خرسانة ذات كثافة عالية بها نسبة عالية من الركام. ويميز هذه الخرسانة سهولة صبها في بعض المناطق أو الأحوال التي يصعب فيها صب الخرسانة التقليدية.

11- الخرسانة الكتلية Mass Concrete

وهى خرسانة ذات كتل كبيرة مثل خرسانة السدود والخزانات الأرضية أو أي خرسانة بحيث يكون حجمها من الكبر بحيث يتطلب ذلك أخذ الإحتياطات من تولد الحرارة الناتجة من إماهة الأسمنت وما يتبع ذلك من إنكماش وتشريخ للخرسانة. ويستخدم فى الخرسانة الكتلية ركام كبير قد يصل مقاسه حوالى 15 سم. ونظرا لوجود حرارة تفاعل عالية من الأسمنت فإنه ينبغي أخذ بعض الإحتياطات الضرورية عند صب الخرسانة الكتلية مثل:

1- إستخدام أسمنت من النوع منخفض الحرارة Low heat.
2- إستخدام محتوى قليل من الأسمنت خلطة فقيرة Lean mix.
3- إحلال نسبة من10 إلى 20% من الأسمنت بمادة بوزولانية مثل غبار السليكا أو الرماد المتطاير.
4- إستخدام الثلج المجروش بدلاً من جزء من ماء الخلط و تسمى هذه العملية بالتبريد السابق.
5- عمل ممرات رفيعة من الحديد رقيق الجدران داخل الكتلة الخرسانية تمر خلالها دورات من الماء البارد لخفض الحرارة و تسمى هذه العملية بالتبريد اللاحق.
6- الصب على طبقات قليلة الإرتفاع بحد أقصى واحد متر.
7- العزل السطحي للخرسانة برقائق من البوليسترين أو اليوريثان وذلك بغرض تنظيم معدل هبوط الحرارة (وليس خفض الحرارة) بحيث يقل فرق الإجهاد الناتج من الهبوط السريع لدرجة الحرارة عند سطح الخرسانة وداخلها.

الخرسانة ذاتية الرص Self-Compacting Concrete

الخرسانة ذاتية الرص هي الخرسانة التي لها درجة عالية من السيولة والإنسياب Deformability كما أن لها مقاومة عالية للإنفصال الحبيبي ويمكن صبها بنجاح في القطاعات الضيقة والمزدحمة بحديد التسليح وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة رص خارجية.
وتعتبر كل من إضافات تحسين اللزوجة وإضافات تقليل ماء الخلط (الملدنات الفائقة) هما العنصرين الأساسيين اللازمين لإنتاج هذه الخرسانة.

كيفية الحصول على هذه الخرسانة

1- زيادة سيولة العجينة باستخدام الملدنات الفائقة.
2- تقليل الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات بتقليل نسبة الركام الكبير في الخلطة او استخدام نسبة من البودرة الناعمة المتدرجة.
3- تقليل المقاس الاقصى الأكبر للركام أو استخدام إضافات تحسين اللزوجة.

مميزات الخرسانة ذاتية الرص

١- سهولة الصب في القطاعات المزدحمة بحديد التسليح والقطاعات الضيقة.
٢- القدرة على صب كمية كبيرة من الخرسانة في فترة زمنية قصيرة.
٣- تحتاج عمال أقل.
٤- لا يوجد بها إنفصال حبيبي.
٥- لا تحتاج إلى إستخدام هزازات في الموقع مما يؤدى إلى سهولة الصب والتغلب على مشكلة الضوضاء الناتجة عن الهزازات.
٦- لها شكل ومظهر أفضل كما أنها لا تحتاج إلى تسوية سطحها بعد صبها .
7- أكثر معمرية من الخرسانة التقليدية.

الفصل الثامن

الإضافات
Admixtures

الإضافات Admixtures

هي مواد (غير الركام والإسمنت والماء) تضاف إلى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط بكميات صغيرة جداً بغرض إعطاء الخرسانة الطازجة أو الخرسانة المتصلبة خواص معينة مطلوبة مثل:-

1- تحسين قابلية تشغيل (Workability) الخرسانة الطرية (Fresh Concrete) .
2- تعجيل عملية التجمد والتصلب للحصول على مقاومة عالية في الأوقات المبكرة.
3-إبطاء عملية التجمد في الأجواء الحارة.
4- تقليل الحرارة المنبعثة من عملية الاماهة.
5- تقليل النضح (Bleeding) .
6- تقليل أو معادلة الانكماش (Shrinkage) الحاصل أثناء التجمد والتصلب.
7- تحسين مقاومة التآكل .
8- تقليل الماء اللازم لعملية الخلط.
9- تحسين المتانة (Durability) .
10- تقليل نفاذية (Permeability) الخرسانة للسوائل.
11- منع صدأ حديد التسليح المغمور في الخرسانة.
12- تقليل التمدد الناتج عن التفاعل بين القلويات (Alkalis) الموجودة في الاسمنت وبعض أنواع السليكا الفعالة في الركام.
13- زيادة قوة الربط بين الخرسانة وحديد التسليح.
14- إعطاء لون للخرسانة للاستفادة منها للأغراض المعمارية.
15- تقليل كلفة الخرسانة.
16- إنتاج أنواع من الخرسانة الخفيفة الوزن.

الاشتراطات العامة المطلوبة عند استخدام الإضافات

١ - يجب أن لا تؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة أو حديد التسليح.
٢ - أن تتناسب الفوائد الناتجة من إستخدام الإضافات مع الزيادة في التكاليف.
٣ - يجب عدم إضافة كلوريد الكالسيوم أو الإضافات التي أساسها من الكلوريدات بتاتاً إلى الخرسانة المسلحة أو الخرسانة سابقة الإجهاد أو الخرسانة التي بها معادن مدفونة.
٤ - يجب التأكد من مدى ملائمة وفاعلية أي من الإضافات بواسطة خلطات تجريبية.

أهم الأنواع الشائعة من الإضافات

يوجد العديد من الإضافات الكيميائية التي تستخدم مع الخرسانة ويمكن تقسيمها إلى المجموعات الآتية:
1 - إضافات تخفيض الماء والتحكم في التجمد.
2 - إضافات الهواء المحبوس.
3 - إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة.
4 - إضافات لمقاومة إجتراف الأسمنت بفعل الماء.
5 - إضافات لتلوين الخرسانة.

1- إضافات تخفيض الماء(الملدنات والملدنات الفائقة) Plasticizers and Supper plasticizers

وهذه الإضافات هي أهم وأكثر أنواع الإضافات استخداما وشيوعاً في مجال الخرسانة وهى تختص بتقليل ماء الخلط بدرجات متفاوتة.
توجد الملدنات و الملدنات الفائقة عموماً في صورة سائلة وتضاف إلى الخلطة الخرسانية بنسبة تتراوح من ١% إلى ٣% من وزن الأسمنت وهى أكثر وأهم أنواع الإضافات إستخداماً وشيوعاً. وقد وجد أن نسبة ٣ % من الملدنات الفائقة تعطى أفضل النتائج.

وظيفة الملدنات

1- تحسين خواص الخرسانة الطازجة وذلك بزيادة القابلية للتشغيل وزيادة السيولة مع ثبات نسبة الماء الى الاسمنت(w/c).
2- الحصول على خرسانة ذاتية الرص.
3- تحسين خواص الخرسانة المتصلدة وذلك بتخفيض نسبة (م/س) في الخلطة مع ثبات درجة القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على خرسانة عالية المقاومة .
4- الحصول على خرسانة ذات مقاومة مبكرة عالية .
5- الحصول على خرسانة عالية الأداء قليلة النفاذية.
6- الحصول على خرسانة بدون إنفصال حبيبي أو نضح.

كيف تعمل الملدنات

ان كيفية عمل الملدنات أو الملدنات الفائقة في تسبيل الخرسانة يأخذ واحدا" أو أكثر من الصور الآتية:-
-1تشتيت حبيبات الأسمنت المتكتلة وإطلاق المياه المحبوسة بينها.
2- إحداث التنافر الكهروستاتيكي بين الجزيئات.
3- العمل على تشحيم الطبقة الرقيقة بين حبيبات الأسمنت.
4- تأجيل عملية الإماهة السطحية لحبيبات الأسمنت مع ترك المزيد من المياه لتسييل الأسمنت.

إن جزئيات الأسمنت البورتلاندي العادي تتميز بميلها الشديد للتكتل عندما تخلط مع الماء وهذا الميل هو حصيلة لتفاعلات داخلية متنوعة .ودور الملدنات أو الملدنات الفائقة هنا هو العمل على فصل حبيبات الأسمنت المتكتلة عن بعضها ومن ثم الحصول على توزيع متجانس للمياه واتصال مثالي بين المياه وحبيبات الأسمنت.

اضافات تأخير التجمد (المؤجلات) Retarders

وظيفتها

تؤخر تجمد الأسمنت أي تزيد زمن تجمد و تصلد الخرسانة وتقلل درجة حرارة الإماهة للأسمنت فيقل معدل زيادة المقاومة Rate of Strength Gain وقد تسبب المؤجلات زيادة الإنكماش اللدن في الخرسانة ولكن ليس لها تأثير يذكر على الخواص الطبيعية والميكانيكية للخرسانة المتصلدة.

الهدف منها

- عمل خرسانة في الأجواء الحارة حيث يحدث التجمد الابتدائي للأسمنت سريعاً جداً.
- إذا كانت ظروف صب الخرسانة صعبة ويلزم جعل المونة الأسمنتية لدنة أو سائلة لمدة طويلة.
- الحصول على خرسانة ذات ركام بارز ظاهر بسطحها.

اضافات تعجيل التجمد (المعجلات) Accelerators_

وظيفتها

تعجل أو تسرع من تجمد الاسمنت أي تقلل زمن تجمد وتصلد الخرسانة وبالتالي يزداد معدل التصلد وكذلك تزداد الحرارة المنبعثة المبكرة.

الهدف منها

أ- تستخدم لتعجيل التجمد في الاحوال التالية:-

- إزالة تأثير تأخر التجمد الناتج من درجات الحرارة المنخفضة.
- أعمال الطوارئ مثل وقف رشح المياه في الخزانات.

ب- تستخدم للحصول على خرسانة مبكرة المقاومة في الاحوال التالية:-

- إزالة القوالب مبكراً.
- التعجيل بزمن إستخدام المنشأ الخرساني.
- تقليل المدة المطلوبة للمعالجة.

ج- تستخدم للحصول على خرسانة مقاومة للصقيع.

2- اضافات الهواء المقصود Air Entraining Admixture_

الهدف منها

تقليل وزن الخرسانة وزيادة المتانة Durability وخاصة المقاومة للصقيع Frost Resistance ويتم ذلك عن طريق إحداث فقاعات Bubbles هوائية دقيقة (غير متصلة) موزعة توزيعاً منتظماً خلال الكتلة الخرسانية وتبقى كذلك بعد تصلب الخرسانة.

ويتم دمج الهواء المقصود بطريقتين :-

1- إضافة مواد تحدث رغاوى Foaming وذلك أثناء خلط الخرسانة مثل بعض المركبات العضوية كالأصماغ الخشبية والزيوت والمنظفات الصناعية.
2- إستخدام مواد صلبة تتفاعل مع الأسمنت وتنتج غاز الهيدروجين على هيئة فقاعات دقيقة كثيرة مثل مسحوق بودرة الألمنيوم وبودرة الزنك والمغنيسيوم (٢ % من وزن الأسمنت).

إن الحد الأعلى للهواء المقصود في الخرسانة يساوي تقريبا" (4/1 – 6/1) حجم عجينة الاسمنت (3-10% من حجم الخرسانة).
ولا تؤثر هذه الإضافات على زمن التجمد للخرسانة بينما تؤدى إلى زيادة إنكماش الجفاف وتقل المقاومة فقد وجد أن هناك علاقة عكسية بين نسبة الهواء المحبوس في الخلطة ومقاومة الضغط للخرسانة.

3 - إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة. Permeability-Reducing Admixture_

الهدف منها

تساعد على مقاومة نفاذ الماء إلى الخرسانة ولكنها لا تمنع نفاذ الماء تماماً. وللوصول إلى درجة عالية من مقاومة النفاذية ينبغي العناية بتصميم الخلطة الخرسانية ثم العناية بعمليتي الرص والمعالجة. ويمكن تحسين نفاذية الخرسانة بإحدى المحاور التالية:-

أ- اضافات صادة للماء Water Proofing Agents

وهى تعمل على منع الخرسانة من امتصاص ماء المطر والمياه السطحية الملامسة ومن امثلتها زيوت البترول والشمع Wax وتضاف بنسبة تتراوح من ٠,١ % إلى ٠,٤ % من وزن الأسمنت. وتستخدم المواد البوليميرية أيضاً لهذا الغرض وذلك في صورة دهانات لأسطح الخرسانة لسد الفجوات الهوائية والشروخ الشعرية الموجودة بالسطح.

ب- استعمال الملدنات الفائقة Super plasticizers

وهى تفيد هنا بطريقة غير مباشرة حيث أنها تعمل على تقليل ماء الخلط وبالتالي الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة بالخلطة ومن ثم تتحسن منفذية الخرسانة.

ج- استعمال مواد بوزولانية مالئة للفراغات Pozzolanic Materials (Filling Effect)

والمواد البوزولانية هي المواد التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات وألومنيات الكالسيوم والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية ومن أمثلتها مادة غبار السيليكا Silica Fume وهى مادة تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالى أربعة إلى خمسة أمثال المساحة السطحية للأسمنت وهى ناتج ثانوي Byproduct في صناعة سبائك السيليكون والفيروسليكون.
وتتفاعل مادة غبار السيليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سيليكات الكالسيوم المماهة والتي لا تذوب فتؤدي إلى تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية.

4- اضافات لمنع اجتراف الاسمنت بفعل الماء Anti-wash out Admixture_

عند صب الخرسانة تحت الماء يعمل الماء على إجتراف الأسمنت من الخرسانة وينتج عن ذلك نقص في مقاومتها و تعكر في المياه المحيطة بها. ولهذا السبب يستخدم هذا النوع من الإضافات التي تعتبر من أحدث أنواع الإضافات الموجودة في السوق حالياً.
تعمل هذه الإضافات على تكوين جل في الماء المحيط بحبيبات الأسمنت فتحميه من الإجتراف بفعل الماء كما تعمل على زيادة اللزوجة و التماسك بين جزئيات الخرسانة و تحسن من مقاومتها للإنفصال.
ويستخدم هذا النوع من الإضافات أيضاً في إنتاج الخرسانة عالية السيولة أو الخرسانة ذاتية الرص حيث تقوم هذه الإضافات بمقاومة الإنفصال الحبيبي وزيادة التماسك للخرسانة. وتتكون هذه الإضافات من بوليمرات أو مركبات سليولوزية على هيئة بودرة قابلة للذوبان في الماء وتضاف إلى الخلطة بنسبة تقريبية ١% من وزن الأسمنت.
تؤدى هذه الإضافات إلى نقص مقاومة الضغط للخرسانة المصبوبة تحت الماء بنسبة قد تصل إلى ٢٠ % إذا ما قورنت بمقاومة الضغط للخرسانة المماثلة و المصبوبة في الهواء.

5- اضافات لتلوين الخرسانة Coloring Admixture

وهى عبارة عن أكاسيد معدنية Metallic Oxid وهى متوفرة في صورة مواد طبيعية أو صناعية ويشترط فيها أن تكون خاملة كيميائياً وأن لا تزيد نسبتها عن ١٠ % من وزن الخرسانة. ومن أهم المواد المستخدمة فى ذلك:

أوكسيد الحديد الأسود و الكربون ⟵ اللون الرصاصي أو الأسود
ثاني أوكسيد التيتانيوم ⟵ اللون الأبيض
أوكسيد الكروم ⟵ اللون الأخضر
أوكسيد الحديد الأحمر ⟵ اللون الأحمر

الفصل التاسع

المرونة - الانكماش - الزحف
Elasticity- Shrinkage- Creep

مقدمة:-

إن الخرسانة تشابه المواد الإنشائية الأخرى بكونها مرنة (Elastic) لدرجة محدودة فتحصل فيها تشوهات (Deformations) مختلفة الأنواع.
فتحت تأثير حمل ثابت يزداد الانفعال الناتج بمرور الزمن أي أن الخرسانة تتعرض للزحف (Creep) إضافة إلى ذلك تتقلص الخرسانة عند جفافها أي أنها تخضع لظاهرة الانكماش(Shrinkage) سواء كانت معرضة للحمل أم لا . ويكون مقدار الانكماش أو الزحف بنفس النسق كالانفعال المرن تحت تأثير الاجهادات.

معامل المرونة Modulus of Elasticity

معامل المرونة هو التغير في الإجهاد بالنسبة إلى التغير في الإنفعال المرن .وهو يُعبر عن صلابة المادة أي مقاومتها للتشكل. و معامل المرونة دالة في مقاومة الخرسانة للضغط (fc) φ = Ec ونظراً لأن الخرسانة المتصلبة مادة ليست مرنة تماماً Elasto-plastic فإن العلاقة بين الإجهاد والإنفعال تكون غالباً منحنى ويقل هذا الإنحناء كلما أرتفعت رتبة الخرسانة كما في الشكل رقم (1) ويمكن التعبير عن معامل المرونة بأحد الصور الثلاثة الآتية والتي يوضحها شكل رقم (2).

١ - معامل التماس الأولي Initial Tangent Modulus

وهو المماس لمنحني الإجهاد- الانفعال في نقطة الأصل (Origin).

٢ - معامل التماس Tangent Modulus

يحدد هذا العامل على منحني الإجهاد- الانفعال في أي نقطة مطلوبة أو بأي قيمة محددة للإجهاد وذلك بميلان الخط المرسوم مماسا" للمنحني في النقطة المطلوبة.

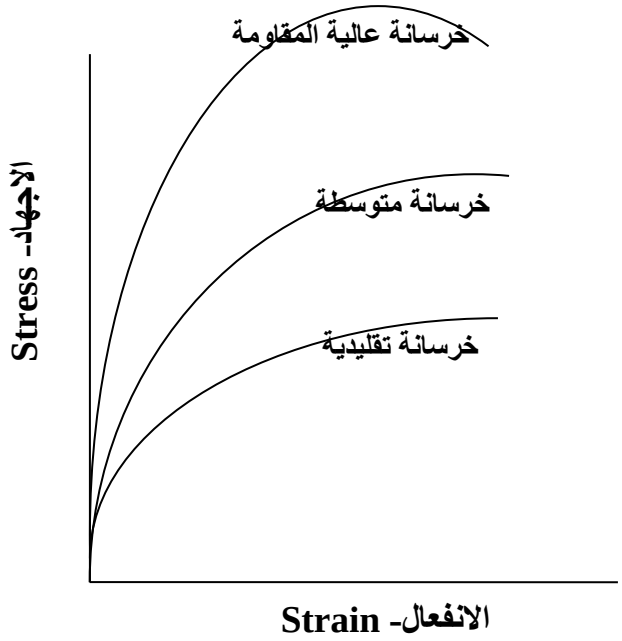
3- معامل القاطع Secant Modulus

يحدد هذا المعامل بميلان الخط المرسوم من نقطة الأصل لمنحني الإجهاد- الانفعال إلى أي نقطة على المنحني. ويقاس في مديات مختلفة للإجهاد تمثل النسب 15 , 25 , 33 , 50 % من المقاومة القصوى.

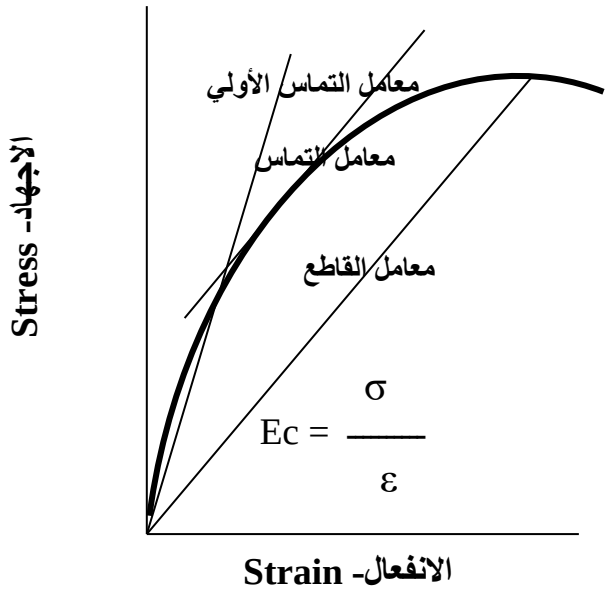
ملاحظة:-
النموذج الرطب يملك معامل مرونة أعلى من النموذج الجاف في حين أن المقاومة تتغير بالاتجاه المعاكس.

والجدول رقم (1) يبين قيم معامل المرونة لخلطات خرسانية مختلفة المقاومة وحسب دليل الممارسة البريطاني(CP 1972 : 110).

مقاومة الانضغاط لمكعبات (N/mm2)	معامل المرونة (MN/mm2)
20	25
25	26
30	28
40	30
50	34
60	36



الشكل رقم (1)
العلاقة بين الإجهاد والانفعال لأنواع من الخرسانة



الشكل رقم (2)
الصور المختلفة لمعامل المرونة

العوامل المؤثرة على معامل المرونة

تؤثر العوامل المختلفة المؤثرة على مقاومة الضغط غالباً على معامل المرونة بنفس الطريقة تقريباً إلا أنه بمعدل أقل. وأهم هذه العوامل هي(كمية الأسمنت - نسبة م/س - العمر – نوع وتدرج الركام - حالة المعالجة - درجة الرطوبة عند الإختبار - معدل التحميل) .وهناك عاملان هامان يؤثران على قيمة معامل المرونة وهما:

1- معامل مرونة الركام المستخدم.(كلما زاد معامل المرونة للركام كلما ارتفع معامل المرونة للخرسانة)
2- كثافة الخرسانة. (كلما زادت الكثافة الخرسانة كلما زاد معامل المرونة لها).

يحدد معهد الخرسانة الأمريكي ACI العلاقة بين معامل المرونة (Ec) ومقاومة الضغط للخرسانة (fc) بالشكل التالي:-

$$Ec = 43\ Wc^{1.5}\sqrt{fc} \times 10^{-6}$$

fc = مقاومة الانضغاط لنموذج اسطواني بعمر 28 يوم (نت/مم2).
Wc = كثافة الخرسانة (كغم / م3)

نسبة بوسون Poisson's Ratio

هي النسبة بين الإنفعال العرضي إلى الإنفعال الطولي عندما يؤثر على الخرسانة إجهاد ضغط في حدود المرونة . وقيمة نسبة بوسون للخرسانة حوالي ٠,٢٠ في حالة الحمل المؤثر ببطء أما إذا كان الحمل متزايد فتصل نسبة بوسون إلى حوالي ٠,٢٢ كذلك فإن نسبة بوسون تكون أقل نسبياً في الخرسانة عالية المقاومة ، ونسبة بوسون لها أهميتها في التحليل الإنشائى للبلاطات المسطحة والأنفاق ولكنها لا تؤخذ في الإعتبار في التصميمات العادية للخرسانة.

$$\nu = \frac{\varepsilon h}{\nu\varepsilon}$$

حيث:-
ν = نسبة بوسون
εH = الانفعال العرضي
νε = الانفعال الطولي

النسبة المعيارية (n) Modular Ratio

وهى النسبة بين معامل المرونة للحديد (Es) ومعامل المرونة للخرسانة (Ec) وهى مفيدة فى تصميم الخرسانة المسلحة بنظريات المرونة.

$$n = \frac{Es}{Ec}$$

الانكماش Shrinkage

الانكماش هو خاصية من خواص الخرسانة التي تتصلب في الهواء .ولا يسبب الإنكماش مشاكل إلا إذا كان هناك قيداً على الحركة حيث يسبب إجهادات شد داخل الخرسانة مما يؤدى إلى تشرخها ويمكن التقليل من الآثار الضارة للإنكماش عن طريق:

أ - المعالجة الصحيحة والمبكرة للخرسانة. Effective Curing
ب - عمل وصلات حركة. Movement Joints
ج -وضع أسياخ تسليح لمقاومة الإنكماش. Shrinkage Reinforcements

أسباب حدوث الانكماش

يحدث الانكماش في الخرسانة نتيجة:-
أ -هبوط الأجزاء الصلبة في الخلطة وفقد الماء الحر من الخرسانة الطازجة مما يسبب ما يعرف بإسم الإنكماش اللدن.

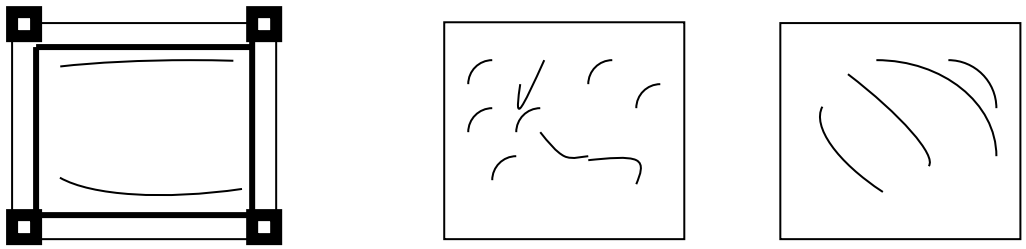
ب -الإتحاد الكيميائي بين الأسمنت والماء يؤدى إلى حدوث الإنكماش الذاتي.
ج - جفاف الخرسانة نتيجة فقد الماء يسبب حدوث إنكماش الجفاف.

أنواع الإنكماش

يوجد خمسة أنواع من الإنكماش هي:-
أ -الانكماش اللدن. Plastic Shrinkage
ب -الإنكماش الذاتي. Autogenous Shrinkage
ج -الإنكماش بالجفاف. Drying Shrinkage
د- انكماش المتباين Differential Shrinkage
ه- انكماش الكربنة Carbonation Shrinkage

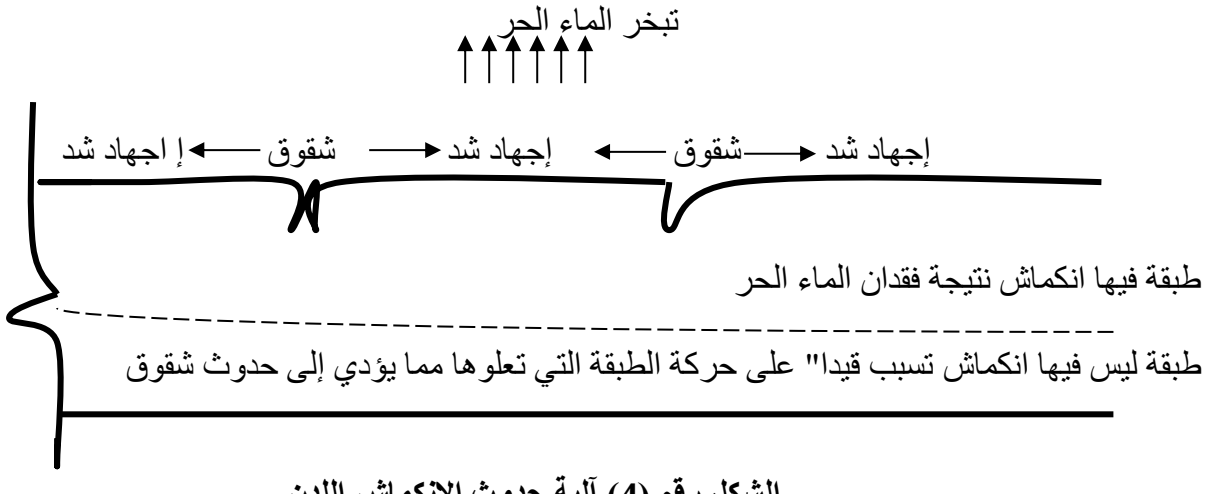
أ -الانكماش اللدن Plastic Shrinkage

يحدث الانكماش اللدن قبل تصلب الخرسانة خلال بضعة ساعات من صب الخرسانة وسببه هو فقد الماء الحر من الخلطة وهبوط الأجزاء الصلبة(الركام) إلى أسفل مما يؤدى إلى صعود الماء إلى أعلى وتبخره .فعندما يكون معدل تبخر الماء من سطح الخرسانة أسرع من معدل النضح(نزوح الماء إلى سطح الخرسانة) يحدث الإنكماش اللدن ولذلك فإن الإنكماش اللدن يُلاحظ أكثر في البلاطات والأعضاء ذات المساحة السطحية الكبيرة المعرضة للجو الحار أو الرياح .ويؤدى هذا النوع من الإنكماش إلى حدوث شقوق سطحية بالخرسانة(شكل رقم 4) .ويمكن منع شقوق الإنكماش اللدن بتقليل الفاقد من الماء السطحي عن طريق المعالجة المبكرة والفعالة. وتشقق الخرسانة اللدنة عادة يأخذ إحدى صور ثلاث كما في شكل رقم (3).



شقوق قطرية مائلة بالنسبة لأوجه البلاطة | شقوق موزعة توزيعا" غير منتظم ولا تصل إلى أوجه البلاطة | شقوق تتبع شكل توزيع حديد التسليح

الشكل رقم (3) أشكال الانكماش اللدن



الشكل رقم (4) آلية حدوث الانكماش اللدن

ب -الإنكماش الذاتي Autogenous Shrinkage

عندما تبدأ عملية الإماهة(Hydration) بين الأسمنت والماء يحدث نقص في حجم المونة لأن المونة المتصلبة حجمها أقل من مجموع حجمي الماء والأسمنت في الخلطة مما يؤدى إلى إنكماش الخرسانة الداخلية وهو ما يعرف بالإنكماش الذاتي لأنه يحدث ذاتياً نتيجة الإتحاد الكيميائي بين الأسمنت والماء .أما إذا تمت معالجة الخرسانة تحت الماء فإن الماء الداخل في التفاعل يتم استعاضته من الماء الخارجي وتمتص العجينة الإسمنتية ماءً زائداً مما يؤدى إلى زيادة طفيفة في حجم الخرسانة(انتفاخ Swelling) وليس إنكماشاً.

الانتفاخ Swelling

هي الزيادة الحاصلة في الحجم والوزن لعجينة الاسمنت أو الخرسانة المعالجة بصورة دائمية بالماء. ويحدث الانتفاخ نتيجة لامتصاص الماء من قبل جل الاسمنت ومن ثم تعمل جزيئات الماء ضد قوى التماسك (Cohesive Force) وتميل لا بعاد جسيمات الجل عن بعضها فيتولد نتيجة لدلك الضغط الانتفاخي.

أما الخرسانة التي تعالج في الهواء أو تترك بدون معالجة فلا يتم إستعاضة الماء الداخل في التفاعل ولكن على العكس يُسحب الماء من العجينة المتصلبة ويحدث إنكماشاً إضافياً هو إنكماش الجفاف .والإنكماش الذاتي يتأثر
1- التركيب الكيميائي للأسمنت. 2- كمية الماء في الخلطة. 3- درجة الحرارة.

ج - إنكماش الجفاف Drying Shrinkage

عندما تتعرض الخرسانة المتصلبة - المعالجة في الماء - للجفاف فإنها تفقد أولاً الماء الموجود في الفجوات والشقوق الشعرية الداخلية ولا تبدأ في الإنكماش إلا إذا إستمر الجفاف بحيث تفقد الماء الموجود بالعجينة المتصلبة ذاتها وهو ما يعرف بالإنكماش نتيجة الجفاف.

د- الانكماش المتباين Differential Shrinkage

وهو انكماش غير منتظم يحدث داخل المنشأ الخرساني نتيجة فقدان الرطوبة من سطح الخرسانة مما يؤدي إلى حدوث تدرج رطوبة (Moisture gradient) في النموذج الخرساني يؤدي إلى انكماش متباين .

ه- انكماش الكربنة Carbonation Shrinkage

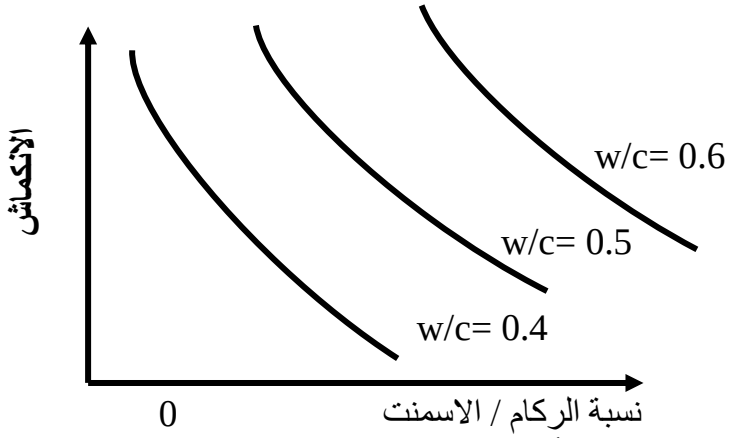
يحصل هذا الانكماش نتيجة وجود غاز CO_2 في الجو حيث يتفاعل الغاز (بوجود الرطوبة) مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ مكونا" كاربونات الكالسيوم التي تترسب في الفراغات الخالية مسببة انكماشا" في الخرسانة.
إن عملية الكربنة تشارك في تقشط السطح الخارجي للخرسانة ولكنها تساهم في زيادة المقاومة وتقليل نفاذية الخرسانة

العوامل المؤثرة على انكماش الجفاف

1- مكونات الخلطة

بصفة عامة فإن الإنكماش يتناسب طردياً مع كمية الماء بالخلطة ويتناسب عكسياً مع كمية الركام بها كما في الشكل رقم (5).
الماء :- يحدث الإنكماش نتيجة فقدان الماء إلى الجو المحيط .فكلما كان هناك ماء أكثر متاح للتبخر كلما زادت إمكانية الإنكماش أثناء الجفاف.

الأسمنت :- أهمية الأسمنت بالنسبة للإنكماش ترجع فقط إلى أن كميته ونعومته تؤثر على كمية الماء في الخلطة.
الركام :- كلما زادت كمية الركام كلما زاد تأثير الركام على تقليل الإنكماش لمونة الأسمنت .كذلك فإن إستعمال الركام ذي مساحة سطحية أقل ما يمكن يساعد على تقليل محتوى الماء في الخلطة وبالتالي يعمل على تقليل الإنكماش.



الشكل رقم (5) تأثير الماء والركام على الانكماش

2- معالجة الخرسانة

تعمل معالجة الخرسانة على تقليل الفاقد الحراري وبالتالي تقليل فروق الحرارة في الأعضاء الضخمة كما أنها في نفس الوقت تقلل الفاقد من ماء الخرسانة وبالتالي تبطئ من معدل الإنكماش في فترة المعالجة مما يقلل من إحتمالات التشقق.

3- حجم وشكل العضو الخرساني

حيث أن الجفاف (فقدان الرطوبة) يكون من سطح العينة فإن ذلك يعنى أنه كلما زادت المساحة السطحية لكل وحدة كتلة كلما زاد معدل إنكماش العضو .فالعضو الضخم السميك يستطيع الإحتفاظ بكمية من الماء أكبر من تلك التي تستطيع بلاطة رفيعة الإحتفاظ بها .وبالتالي يكون تأثير الإنكماش كبيراً وخطيراً في حالة البلاطات وخاصة الرقيقة منها.

4- درجة الحرارة والرطوبة

كلما قلت نسبة الرطوبة كلما زاد معدل وكمية الفاقد من الماء إلى سطح الخرسانة مما يؤدى إلى زيادة الإنكماش ونفس التأثير يحدث عند زيادة درجة حرارة الجو.

5- التسليح

تنكمش الخرسانة المسلحة بدرجة أقل من إنكماش الخرسانة العادية نظراً لأن حديد التسليح يسبب قيداً على الحركة . وعلى ذلك فوظيفة أسياخ الإنكماش ليست فقط مقاومة إجهادات الشد الناتجة من الإنكماش وإنما تقليل الإنكماش نفسه كذلك.

الزحف Creep

هو الاستطالة الدائمة(الانفعال غير المرن) التي تحدث في المادة نتيجة التحميل بحمل ثابت لفترة طويلة.

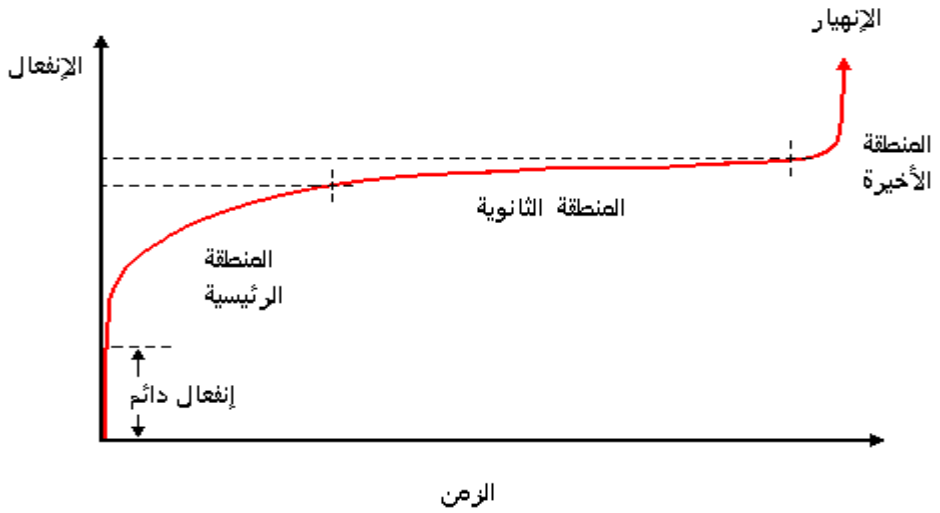
الزحف يحدث في المواد في أي درجة حرارة ولكنه يظهر بصورة أكبر في درجات الحرارة المرتفعة، فمثلا الرصاص يمكن أن تحدث فيه عملية الزحف في درجة حرارة الغرفة، وبالمثل نجد أن زجاج النوافذ يكون سمكه من أسفل أكبر من سمكه في الأعلى وذلك نتيجة الزحف تحت تأثير وزنه وذلك خلال عدة سنوات.

وقيمة الزحف ممكن أن تكون اكبر بعدة مرات من الانفعال عند التحميل.

تجربة قياس الزحف

تجرى هذه التجربة بتعريض عينة لإجهاد شد ثابت عند درجة حرارة معينة ثم نقوم بقياس الانفعال الناتج كل فترة زمنية معينة.

من هذه التجربة نحصل على منحنى به ثلاث مناطق توضح عملية الزحف:



1. المنطقة الأولى: ويحدث بها زيادة كبيرة في الانفعال الناتج.
2. المنطقة الثانية: وفيها الانفعال الناتج يزيد بقيمة صغيرة جدا.
3. المنطقة الثالثة: ويحدث فيها زيادة في الانفعال بقيمة كبيرة حتى تحدث عملية الانهيار.

العوامل التي تؤثر على الزحف

ومن العوامل التي تؤثر على قيمة الزحف نوع الأسمنت المستخدم ومقاومة الخرسانة ونسبة الماء إلى الأسمنت في الخلطة وكذلك الوقت الذي تم فيه أول تحميل للخرسانة وخواص المقطع الخرساني وقيمة الرطوبة النسبية للجو المحيط بالمنشأ (حيث يزداد الزحف كلما انخفضت الرطوبة النسبية) .وبصفة عامة فإن قيمة الزحف تقل كلما زادت مقاومة الخرسانة .

يستمر الزحف مع الوقت في الأعضاء المعرضة لأحمال ثابتة لسنوات عديدة ولكن معدل زيادة إنفعالات الزحف يقل حتى يصبح ضئيلا يمكن إهماله .وبالتقريب فإننا يمكننا أن نقول أن ربع قيمة الزحف الكلية تحدث في أول شهر وأن نصف قيمة الزحف الكلية تحدث في أول سنة .وتجدر الإشارة أن قيمة الزحف النهائي في الشد تساوى تقريباً القيمة في الضغط إلا أن معدل حدوث الزحف فى الشد يكون أسرع نسبياً من معدل حدوثه في الضغط.

تأثير الزحف

لظاهرة الزحف فى الخرسانة تأثيرات ضارة وتأثيرات أخرى نافعة نوجزها فيما يلي:

التأثير الضار:

١ - يزيد من قيمة الانحناء(Deflection) فى بعض الحالات
٢ - يعمل على توسيع الشروخ التي تنشأ من عوامل أخرى.
٣ - زيادة الإنفعالات نتيجة الزحف قد يؤدى إلى تشريخ الخرسانة.

ولكن بصفة عامة فإنه لا توجد حالات إنهيار نتيجة الزحف بمفرده ولكنه عامل مساعد على تصدع الخرسانة فى بعض الحالات.

التأثير النافع:

يؤدى الزحف إلى تقليل الإجهادات التي يسببها إنفعال شد ثابت مع الوقت (مثل الإنكماش) وبالتالي يتولد عندنا إجهاد شد صافى هو الفرق بين الإجهاد الأصلي وتأثير الزحف .وهذه الظاهرة تعرف بالإسترخاء **Relaxation** ومما هو معروف أن الشروخ لا تتكون إلا إذا زاد إجهاد الشد الصافي عن مقاومة الخرسانة للشد.

الفصل العاشر

المتانة
Durability

المتانة Durability

المتانة هي تحمل الخرســانة للظروف التي صُــممت من أجلها وتعمل في محيطها فترة طويلة من الزمن (العمر الإفتراضى) دون حدوث تلف أو تفتت بها.
وبمعنى آخر فإن المتانة هي مقاومة الخرسانة للتدهور (Deterioration) سواءاً التدهور الناتج من عوامل خارجية أو من عوامل داخلية .العوامل الداخلية تشمل حدوث تفاعلات ضـارة بين مواد الخرسـانة وحدوث تغيرات حجمية بها وكذلك نفاذ السوائل فيها .أما العوامل الخارجية فتشمل ظروف التشغيل والتحميل وتأثير الجو المحيط بالمنشأ.
يوجد أسباب عديدة تؤدى إلى تلف الخرسانة (Deterioration) يمكن تصنيفها إلى المجموعات الآتية:-

أ- أسباب داخلية

وهى المتعلقة بمكونات الخرسانة أو وجود مواد ملوثة بها مثل الطين أو الطفلة أو السليكا النشطة في (بعض أنواع الركام) أو وجود أملاح ضارة بهذه المكونات .كذلك يؤدى إلى تفاعلات ضارة تعمل على تلف الخرسانة .والمكونات الرئيسية للخرسانة هي:

١ – الأسمنت. ٢ – الركام.
٣ - ماء الخلط. ٤ - حديد التسليح.
٥ - الإضافات المعدنية والكيميائية.

ب- أسباب خارجية (ناتجة من الوسط المحيط بالخرسانة)

١ - مهاجمة الكيماويات مثل الكبريتات والكلوريدات للخرسانة.
٢ - ماء البحر.
٣ -ماء المجاري.
٤ -المخلفات الصناعية.

ج- أسباب أخرى ومنها:-

١ - حركة المياه الجوفية.
٢ - درجة حرارة المياه الجوفية.
٣ - تذبذب منسوب المياه الجوفية (دورات بلل وجفاف).
٤ - التبخر خلال سطح الخرسانة.
٥ - التأكسد والكربنة.

مقاومة الخرسانة للتلف

يمكن تصنيف أهم المقاومات التي توصف الخرسانة بأنها تتحمل مع الزمن كما يلي:

١ - المقاومة للنفاذية والإمتصاص . ٢- المقاومة لصدأ الحديد.
٣ - المقاومة لتأثير الكيماويات . ٤- المقاومة لماء البحر.
٥ - المقاومة للعوامل الجوية . ٦- المقاومة للحريق.
٧ - المقاومة لماء المجاري . ٨ - المقاومة للتآكل.

المسامية والنفاذية والامتصاص

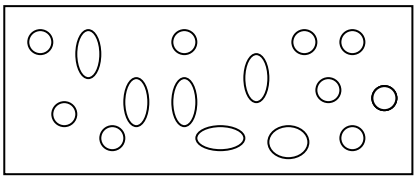
ينبغي عدم الخلط بين الإمتصاص (Absorption) والنفاذية (Permeability) والمسامية (Porosity).

فالإمتصاص هو قدرة الخرسانة على سحب الماء داخل فجواتها وهو غير مرتبط بالنفاذية ويؤدى الإمتصاص إلى انتفاخ الخرسانة كما يؤدى إلى تفتتها عند تعرضها لدورات التجمد والذوبان وهى مشبعة بالماء.

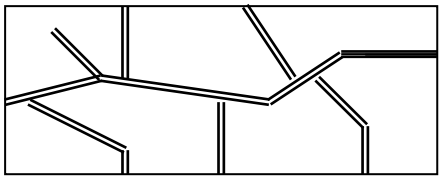
أما النفاذية فهي الخاصية التي بواسطتها يمكن تسرب أي سائل خلال الخرسانة .وهذه السوائل تقلل من عمر الخرسانة لأن وصول الرطوبة إلى حديد التسليح يؤدى إلى الصدأ ودخول الأحماض والأملاح يؤدى إلى تدهور الخرسانة .كما أن نفاذية الخرسانة قد تعنى في بعض الأحوال عدم أداء المنشأ لوظيفته كما في حالة الخزانات المحتوية على سوائل والمنشآت تحت الأرض ففي مثل هذه المنشآت تصبح عدم نفاذية الخرسانة خاصية مطلوبة وهامة كمقاومتها للأحمال وأكثر.

بينما نجد أن المسامية هي وجود مسام أو فجوات داخل المادة الصلبة وقد تكون هذه المسام متصلة عن طريق أنابيب دقيقة أو مسارات شعرية أو قد تكون هذه المسام منفصلة عن بعضها. إن التركيب الداخلي لعجينة الأسمنت يحتوى على مسام دقيقة نتيجة التفاعلات الكيميائية التي تصاحب إماهة الأسمنت والماء .إذن فالخرسانة بطبيعتها مادة مسامية ولكي تصبح الخرسانة منفذة للسوائل أو الهواء فلابد من إتصال هذه المسام على هيئة أنابيب دقيقة متقاطعة .وعلى ذلك فالمسام المحدودة العدد المعزولة عن بعضها البعض لن تؤدى إلى نفاذ الماء أو الهواء كما موضح في الشكل رقم (6).

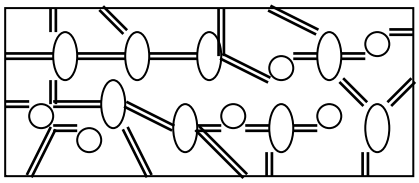
وعموماً فإن الخرسانة بطبيعتها تعتبر مادة مسامية وإتصال الفجوات الداخلية هو الذي يؤدى إلى زيادة النفاذية .ولزيادة تحمل الخرسانة مع الزمن لابد من تقليل النفاذية .وتقليل النفاذية ممكن عن طريق تخفيض نسبة الماء إلى الأسمنت وإستخدام أسمنت ناعم وركام صلد غير منفذ ،كما أن تفادى الإنفصال الحبيبي عند الصب وكذلك الرص الجيد والمعالجة المناسبة تقلل من نفاذية الخرسانة .وكما هو معلوم فإن إستخدام مواد بوزولانية مثل غبار السليكا يقلل من نفاذية الخرسانة.



مادة مسامية ولكن غير منفذة



نفاذية عالية ومسامية منخفضة



مسامية عالية ونفاذية

شكل رقم (6) حالات المسام المختلفة

أنواع المسامات الداخلية

يوجد ثلاثة أنواع من المسام يمكن تمييزها كما يلي:
أ - **المسامات الهوائية Air Pores** ومنها الصغير جداً وهو عادة ما يتم تكوينه صناعياً داخل الخرسانة عن طريق إضافات الهواء المحبوس لزيادة القابلية للتشغيل وتحسين المقاومة للصقيع ومنها المسامات الهوائية الكبيرة غير المنتظمة وهى تنشأ عادة عن عيوب الصب والرص للخلطة الخرسانية والمسام الهوائية يتراوح قطرها من ٠,٠١ إلى ٠,٢ مم.

ب - **مسامات الجل Gel Pores** وهى أدق وأصغر أنواع المسام على الإطلاق حيث يبلغ قطرها من٠,٥ ×10¯6مم إلى 10 ×10¯6مم وتتكون بعد عملية الإماهة حيث تتصلب العجينة الأسمنتية مكونة جسماً صلباً متجانساً .هذا الجسم الصلب به نسبة عالية من الفراغات الداخلية (مسام جيلاتينية).

ج - **المسامات الشعرية Capillary Pores** بعد خلط الأسمنت مع الماء مباشرة يحدث تكتل لحبيبات الأسمنت والماء ويسمى الماء الموجود في الفراغات داخل هذا التكتل بالماء الشعري Capillary Water حتى يحدث له تفاعل كامل مع الأسمنت ويترك مكانه خالياً مكوناً المسامات الشعرية التي تعتبر أكثر أنواع المسامات والتي تحدد درجة المسامية الكلية للخرسانة. والمسام الشعرية ذات قطر يتراوح من 10×10¯6مم إلى 10 × 10¯3مم (أي أنها وسط بين مسامات الجل والمسامات الهوائية).

تأثير النفاذية على الخرسانة

١ - إن سريان الماء والهواء داخل الخرسانة يؤدى إلى صدأ حديد التسليح وتآكله.
٢ - في الأجواء الباردة يتجمد الماء داخل الفراغات مسبباً تمدد ينشأ عنه إجهادات تؤثر على متانة الخرسانة.
٣ - قد يحمل الماء بعض الأملاح معه داخل جسم الخرسانة فتتفاعل كيميائياً أو تتحول إلى بلورات مما يسبب إجهادات داخلية تضعف الخرسانة.
٤ - قد يحمل الماء عند خروجه من الخرسانة بعض الأملاح أو المركبات المكونة للخرسانة مما يسبب زيادة الفراغات . كما أن هذا الماء يتبخر تاركاً الأملاح على السطح الخارجي للخرسانة مما يضر بشكل المنشأ.

صدأ الحديد Steel Corrosion

إن صدأ حديد التسليح هو أكثر مشاكل المنشآت انتشاراً ويرجع معظم التصدع في المنشآت الخرسانية ونقص عمرها الإفتراضى لصدأ الحديد .وتعتبر الخرسانة المسلحة من المواد التي تتحمل مع الزمن وتعيش طويلاً ويفضلها المصممون عن كثير من أنواع المنشآت ولا يقلل من عمرها وتحملها إلا صدأ الحديد .وقد يكون الصدأ بسيطاً ويظهر في صورة تنميل خفيف- شقوق رفيعة -عند أسياخ التسليح أو بقع صدأ وقد يزيد فيؤدي إلى تساقط الخرسانة المكونة للغطاء الخرسانى Spalling وقد يصل الصدأ إلى حدوث إنهيار للعضو الخرسانى بأكمله.
وخطورة صدأ الحديد أنه يبدأ ويستمر لمدة طويلة بدون ظهور أعراض وذلك لأن التدهور المصاحب لصدأ الحديد بطئ وقد يستمر سنين وخطورته أيضا أنه طالما بدأ فسيستمر حتى ولو أزيل مصدر الرطوبة ما لم يزال الحديد الصدئ والخرسانة المعيبة وتستبدل بخرسانة سليمة .وأي إجراء يتبع لإصلاح الوضع المتدهور لخرسانة أصابها الصدأ يعتمد كلية على الفهم السليم لأسباب حدوث الصدأ ووسائل السيطرة عليه ومنعه من الاستمرار .والحقيقة أن الرطوبة والأوكسجين هما وقود عملية الصدأ الذي يبدأ حينما تفقد الحماية التي توفرها الخرسانة للأسياخ نتيجة أسباب عديدة مثل زيادة نسبة الكلوريدات بالخلطة أو التحول الكربوني للخرسانة الخارجية أو حدوث شقوق نتيجة أسباب أخرى غير الصدأ مما يسهل وصول الرطوبة إلى الأسياخ ويبدأ الصدأ.

أسباب حدوث صدأ الحديد

عندما يقل الغطاء الخرسانى عن حد معين يصبح السيخ معرضاً للعوامل الجوية ويمكن أن يبدأ الصدأ في وجود الرطوبة والأوكسجين .وحتى مع وجود غطاء خرساني كاف فإن الصدأ يمكن أن يبدأ عندما تقل قاعدية الخرسانة المحيطة بالأسياخ إلى الحد الذي ينخفض فيه الأس الهيدروجيني إلى ١٠ أو أقل ، ففي هذه الحالة تصبح الطبقة الحامية السلبية غير متزنة وتنكسر مما يجعل التيار الكهربائي يسرى في السيخ ومن ثَمَ يبدأ الصدأ .وفقد القاعدية يحدث نتيجة لعامل أو أكثر من العوامل الآتية:

1- التحول الكربوني للخرسانة في الغطاء الخرسانى.
٢ -أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو.
٣ - تغلغل الكلوريدات في الخرسانة من المياه المحيطة أو وجودها في الخلطة الخرسانية أصلاً.
٤ -وجود شقوق سطحية- لأسباب أخرى غير الصدأ -بعمق يصل إلى أسياخ الحديد وخاصة إذا كانت الشقوق موازية لصلب التسليح.

1- التحول الكربونى للخرسانة فى الغطاء الخراسانى

تفقد خرسانة الغطاء الخارجي قاعديتها نتيجة عملية تسمى التحول الكربوني للخرسانة وهى تفاعل ثاني أوكسيد الكربون الموجود بالجو مع المواد القاعدية الموجودة بالخرسانة – هيدروكسيد الكالسيوم - محولاً إياها إلى كربونات في وجود الرطوبة:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \xrightarrow{\text{Water}} CaCO_3 + H_2O$$

وكنتيجة لذلك تقل قاعدية الخرسانة إلى أقل من المستوى المطلوب لتوفير الحماية السلبية للأسياخ (أقل من ١٠). ونظراً لأن التحول الكربوني ينتج عن التفاعل مع ثاني أوكسيد الكربون الموجود بالهواء فهو يبدأ من السطح ويمتد إلى الداخل .والخرسانة الجيدة غير المنفذة للماء لا يحدث لها تحول كربوني إلا في حدود طبقة سطحية جداً (عدة ملليمترات) حتى عندما يصبح المبنى قديماً ولكن الخرسانة الرديئة المنفذة للماء يحدث لها تحول كربوني بعمق يصل إلى عشرة أضعاف عمق التحول في الخرسانة الجيدة.
وتحدث عملية متشابهة للتحول الكربوني في وجود ثاني أوكسيد الكبريت في الجو المحيط بالأعضاء الخرسانية وتسمى عملية التحول الكبريتي ، وتسبب أيضا نقص قاعدية الخرسانة المحيطة بأسياخ التسليح ، وإذا حدث تحول كربوني وكبريتي معاً فإن ذلك سيؤدى إلى زيادة وإن كانت بسيطة في سرعة فقد الخرسانة لقاعديتها .ولهذا يوصى بزيادة الغطاء الخرسانى لحديد التسليح في الأجواء الملوثة بالكبريتات.

٢ - أبخرة أو محاليل حامضية يتعرض لها العضو

يفقد حديد التسلح الحماية القاعدية للخرسانة نتيجة تغلغل الأبخرة الحامضية الموجودة بالهواء (غالباً ثاني أوكسيد الكربون وفى المناطق الصناعية ثاني أوكسيد الكبريت) داخل الخرسانة ويعتمد هذا التغلغل على نفاذية الخرسانة Permeability بدرجة كبيرة .والخرسانة الرديئة غالباً ما تكون منفذة أما الخرسانة الجيدة فهي غير منفذة .كما يعتمد هذا التغلغل على سمك الغطاء الخرسانى .إن نفاذية الخرسانة وسمك الغطاء الخرسانى هما المسئولان عن حماية الأسياخ ضد المؤثرات الخارجية وتغيرهما الكبير من منشأ لآخر هو الذي يفسر التغير الكبير في وقت بداية الصدأ في المنشآت المختلفة المعرضة لنفس الظروف الجوية.

3- تغلغل الكلوريدات

تعتبر أيونات الكلوريداتChloride Ions من أكثر المواد التي تدمر الحماية السلبية لحديد التسليح داخل الخرسانة . وهذه الكلوريدات من الممكن أن تكون موجودة في الخرسانة من لحظة خلطها (مصادرها الركام أو ماء الخلط أو الإضافات المحتوية على كلوريد الكالسيوم)أو تصل إلى الخرسانة بعد إستعمال المنشأ(مصادرها مياه البحر أو المياه الجوفية)ووجود الكلوريدات- أيا كان مصدرها -في الخرسانة يؤدى إلى تنشيط عملية الصدأ ولو كانت قاعدية الخرسانة ما زالت مرتفعة.

وصدأ الحديد نتيجة وجود كلوريدات داخل خلطة الخرسانة أخطر وأصعب في إصلاحه من الصدأ نتيجة التحول الكربوني لأنه بينما يمكن منع حدوث مزيد من التدهور في الأعضاء التي تحولت خرسانتها السطحية كربونيا" فلا توجد وسيلة فعالة لمنع التدهور في حالة وجود تركيز عال من الكلوريدات داخل خلطة الخرسانة إلا إزالة الخرسانة المعيبة تماماً من حول أسياخ التسليح.

وتقوم أيونات الكلوريدات الحرة - الموجودة في الماء داخل فراغات الخرسانة - بمهاجمة حديد التسليح وتسبب له الصدأ .وميكانيكية التفاعلات الكيميائية في هذه الحالة معقدة إلى حد كبير ولكن يمكن القول ببساطة أن أيونات الكلوريدات قادرة على تعطيل التفاعلات الحادثة على سطح حديد التسليح والتي توفر له الحماية السلبية حتى وإن كانت قاعدية الخرسانة مازالت عالية ولم يحدث لها تحول كربوني أما في حالة حدوث تحول كربوني فإن قيماً أقل من الكلوريدات ستدمر الحماية السلبية للحديد وسيصبح معدل الصدأ أسرع.

والملاحظ أنه في الفترة الأخيرة تم تقليل القيم المسموح بها في المواصفات العالمية والخاصة بنسبة تركيز الكلوريدات في الخرسانة وذلك في ضوء التجارب والخبرة المتاحة بحيث أصبحت القيم المسموح بها الآن أقل بكثير من القيم التي كانت يسمح بها سابقا .ومنع الكلوريدات من التغلغل في الخرسانة يعتمد أساساً على عدم نفاذية هذه الخرسانة كما يعتمد على سمك الغطاء الخرسانى.

٤ - وجود شقوق سطحية

تعتبر الشقوق منفذاً سهلاً للأوكسجين والرطوبة والكلوريدات ولذا فإن الشقوق السطحية الموازية للأسياخ يمكن أن تسهل عملية الصدأ والتي ستؤدى بدورها إلى حدوث شقوق جديدة .وقد يكون سبب هذه الشقوق الإنكماش اللدن أو الهبوط اللدن وهى شقوق تحدث على أسطح البلاطات .وفى الحالات التي تكون فيها هذه الأسطح معرضة للأملاح تصبح هذه الشقوق مخزناً للتلوث قريباً من الحديد العلوي .والأخطر من ذلك الفجوات التي تحدث تحت أسياخ التسليح عندما يحدث نضح للخرسانة ويحدث لها هبوط لدن .هذه الفجوات يصعب جداً العثور عليها كلها وتشكل مصدراً دائماً للرطوبة وسبباً قوياً للصدأ لأن حماية أسياخ التسليح تعتمد على تغطية الخرسانة لسطح السيخ بأكمله .والحل الأمثل في مثل هذه الحالات هو تجنب حدوث هذه الفجوات أصلاً بالتأكد من أن خواص الخرسانة مناسبة لطريقة صبها ومعالجتها .وهذا الأمر هام جداً لمنع حدوث الصدأ.

ميكانيكية حدوث الصدأ

صدأ الحديد هو عملية كهروكيميائية تحدث عند السطح الفاصل بين صلب التسليح والخرسانة وتحتاج إلى عامل مؤكسد(الأوكسجين) ورطوبة وتيار من الإلكترونات يسرى من قطب موجب إلى قطب سالب في المعدن ويجب توفر الوسط الذي ينقل التيار الكهربائي من القطب الموجب إلى السالب وهو عادة ماء أو محلول مائي به أملاح ذائبة . وتحدث في هذه العملية مجموعة من التفاعلات الكيمائية على النحو التالي:-

١ - يتحلل الحديد من القطب الموجب على هيئة أيونات الحديدوز++(Fe) حسب التفاعل:

$$2Fe \longrightarrow 2Fe^{++} + 4e^-$$

٢ - تنتقل الالكترونيات المتولدة من التفاعل السابق(-4e) في سيخ الحديد إلى منطقة القطب السالب حيث تتفاعل مع الأوكسجين والماء مكونة أيونات الهيدروكسيد (OH)

$$2H_2O + O_2 + 4e^- \longrightarrow 4(OH)^-$$

3- عند تقابل نواتج التفاعلين-أيونات الحديدوز مع أيونات الهيدروكسيد- يترسب هيدروكسيد الحديدوز وفقاً للتفاعل:

$$2Fe^{++} + 4(OH)^- \longrightarrow 2Fe(OH)_2$$

٤ - يتأكسد هيدروكسيد الحديدوز الناتج بفعل الأوكسجين والماء إلى هيدروكسيد الحديديك (تفاعل ثانوي) الذي يتحلل مكوناً صدأ الحديد (أوكسيد الحديد)طبقاً للتفاعل

$$2Fe(OH)_2 \xrightarrow{O_2 + H_2O} 2Fe(OH)_3 \xrightarrow{\text{يتحلل}} Fe_2O_3.H_2O$$

ويعتبر أوكسيد الحديد الناتج شديد الإمتصاص للماء وضعيف الإلتصاق بالحديد ، وبذلك يسهل إزالته بالذوبان البطئ تاركاً سطح الحديد ليسمح بتكون صدأ جديد ويمكن عن طريق قياس التيار الكهربائي في أسياخ الحديد الصدأة معرفة الصدأ في الأسياخ التي يصعب الكشف عليها ، وهذا يساعد على تحديد درجة خطورة المنشآت الخرسانية المعرضة للصدأ .وهيدروكسيد الحديد الناتج يزيد حجمه عن حجم السيخ الأصلي زيادة كبيرة مما يؤدى إلى تولد إجهادات انفصالية عالية حول أسياخ التسليح تؤدى إلى شروخ طولية موازية للأسياخ وعند زيادة الصدأ عن ذلك تبدأ الخرسانة السطحية في التساقط.

يمكن تلخيص تدهور الخرسانة نتيجة صدأ الحديد بالمراحل الآتية-:

١ - عند تصلب الخرسانة تتكون طبقة حماية سلبية حول أسياخ الحديد نتيجة قاعدية الخرسانة(الأس الهيدروجيني من ١٢ إلى ١٤).

٢ - عندما تقل قاعدية الخرسانة(أقل من١٠) تُفقَد هذه الطبقة الحامية ويصبح السيخ معرضاً للصدأ .وقاعدية الخرسانة تقل إما لوجود أبخرة حامضية أو حدوث تحول كاربوني للخرسانة السطحية أو وجود الكلوريدات أو وجود شروخ سطحية بالخرسانة.

٣ - التحول الكاربوني يكون بطيئاً جداً في الخرسانة الجيدة ولكن عدم جودة الخرسانة ونفاذيتها وقلة سمك الغطاء الخرساني ووجود الشروخ السطحية ووجود رطوبة من ٥٠- ٧٥% تسرع بمعدله.

٤ - الكلوريدات تأثيرها على صدأ الحديد يبدأ إذا زاد تركيزها في الخلطة الخرسانية عن ٠,٣% من وزن الأسمنت ويكون تأثيرها أخطر إذا كانت من مصدر خارجي.

٥ - يبدأ الصدأ عند توفر الأوكسجين والرطوبة وتظهر بقع الصدأ ثم تظهر شروخ شعرية طولية موازية للحديد الرئيسي وفوقه مباشرة.

٦ - إستمرار عملية الصدأ يؤدى إلى تشريخ الغطاء الخرسانى لأن أوكسيد الحديد الناتج من الصدأ حجمه أكبر كثيراً من حجم الحديد الأصلي.

٧ - كلما إزداد الصدأ كلما زادت الشروخ في الطول والعرض ثم تبدأ الخرسانة الخارجية في التساقط وتظهر الأسياخ الصدأة بوضوح.

مقاومة الخرسانة لتأثير الكيمياويات Strength of Concrete for Chemical Attack

يتعرض جزء صغير من المنشآت الخرسانية في بعض الأحيان إلى تأثير الكيماويات ويجب الإبتعاد ما أمكن عن هذه التأثيرات لأن مقاومة الخرسانة للكيمياويات غالباً أقل من مقاومتها للمؤثرات الأخرى. ومن التأثيرات الشائعة للكيمياويات تأثير أملاح الكبريتات وماء البحر والمياه الحامضية الطبيعية وتتوقف مقاومة الخرسانة للكيمياويات على نوع الأسمنت المستخدم في صنعها. كما أن كثافة الخرسانة وعدم منفذتيها للماء تؤثر على تحمل الخرسانة بدرجة قد تفوق تأثير إختلاف نوع الأسمنت. وفيما يلى توضيح موجز عن تأثير أهم الكيمياويات الشائعة على الخرسانة:-

1- املاح الكبريتات Sulphates

ان مصدر املاح الكبريتات وتأثيره على الخرسانة يأتي من مصدرين اولهما التأثير الخارجي والذي يأتي من املاح الكبريتات المتواجدة في التربة او المياه الجوفية او في ماء البحر(وفي هذه الحالة تتفاعل الكبريتات مع اسمنت متصلب ومتماسك) وثانيهما التأثير الداخلي والذي ياتي من املاح الكبريتات المتواجدة في مواد الخلط المستعملة في انتاج الخرسانة كالرمل والماء بصورة رئيسية او بكميات قليلة جدا" في الحصى.
تشتمل أملاح الكبريتات الموجودة في التربة والمياه الجوفية والمواد الداخلة في الخرسانة والتي قد تسبب أضراراً للخرسانة على كبريتات الكالسيوم وكبريتات الصوديوم وكبريتات المغنسيوم وكبريتات البوتاسيوم وهذه (الكبريتات بإستثناء كبريتات الكالسيوم تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ (الجير الحر) الموجود داخل الخرسانة المتصلبة وينتج من هذا التفاعل كبريتات الكالسيوم (الجبس) وفقاً للمعادلة التالية:-

$$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 . 10H_2O \rightarrow CaSO_4 . 2H_2O + 2\,NaOH . 8H_2O$$

فكبريتات الكالسيوم المتكونة تتفاعل بدورها مع ألومينات الكالسيوم لتشكل ألومينات الكالسيوم الكبريتية المائية أي Calcium Sulphoaluminate ويشار إليها عادة بإسم الإترنجايت (Etringite)

$$4CaO . Al_2O_3 . 19H_2O + 3(CaSO_4 . 2H_2O) + 16H_2O \rightarrow$$
$$3\,CaO . A1_2O_3 . 3CaSO_4 . 32H_2O + Ca(OH)_2$$

وتسبب بلورات الإترنجايت ضغطاً داخلياً يؤدى الى تشرخ الخرسانة وتلفها. ويتم وقاية الخرسانة في التربة الغنية بالكبريتات وذلك بعمل طبقة من الأسفلت أو دهانها بالبيتومين أوغيرها من الطبقات العازلة على أن تكون ملتصقة تماما بسطح الخرسانة حتى لا تنفصل عنها ويمكن إستعمال الخرسانة الجيدة المخلوطة بالأسمنت البورتلاندي في التربة المحتوية على نسبة قليلة من الكبريتات. وفى حالة التربة المحتوية على نسبة كبيرة من الكبريتات فإنه من الضروري الإهتمام بتصميم الخلطة الخرسانية وإستعمال الأسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات.

2- الاحماض Acids

إذا تواجد ثاني أوكسيد الكربون أو ثاني أوكسيد الكبريت في ظروف جوية رطبة أو أية أبخرة (Soft) حامضية أخرى فإنها تهاجم الخرسانة فتذيب وتزيل جزءاً من الأسمنت وتكون طبقة لينة تسهل إزالتها من سطح الخرسانة. ويحدث مثل هذا التأثير في المداخن وفى الخرسانة الموجودة في الأجواء الصناعية مثل مسابك الحديد ووحدات إنتاج الغاز. وعموماً فإن الأحماض غير العضوية تؤثر تأثيراً شديداً - أكثر من غيرها - على الخرسانة حيث تتفاعل مع الجير الحر مكونة كلوريدات وكبريتات ونترات. وتتوقف شدة التأثير على مدى ذوبان تلك المركبات في الماء وعلى تركيز تلك الأحماض وعلى سرعة التفاعل التي تزداد إذا كانت الأحماض ساخنة.

3- املاح الكلوريدات Chlorides

تتحد معظم أملاح الكلوريدات مع الجير الحر الموجود في الأسمنت البورتلاندي لتكون كلوريد الكالسيوم القابل للذوبان وبالتالي يتسرب إلى خارج الخرسانة مكوناً ترسبات بيضاء على السطح مع حدوث فراغات بالخرسانة. وتكون كلوريد الكالسيوم بدرجة تركيز عالية يؤدى إلى التلف الشديد لسطح الخرسانة.

تأثير ماء البحر Sea Water Attack

*- تهاجم أملاح الكبريتات الموجودة في ماء البحر الخرسانة المغمورة في الماء وكذلك الخرسانة الموجودة فوق سطح الماء عن طريق تسرب المياه إليها بالخاصية الشعرية .
وهذه الأملاح بصورة رئيسية هي كبريتات المغنيسيوم حيث تتفاعل مع الجير الحر الطليق في الخرسانة وتؤدي إلى تشققها وتلفها.
*- بالإضافة إلى أن جفاف الماء المتسرب بالخاصية الشعرية وبقاء الأملاح في داخل المسامات الشعرية يؤدي إلى تشقق الخرسانة ايضا" بسبب الضغط المسلط نتيجة لتكوين البلورات ونموها.
كما وتتعرض الخرسانة فوق سطح الماء لتتابع البلل والجفاف نتيجة المد والجزر وهذه الخرسانة تتأثر أكثر من الخرسانة المغمورة في الماء.
*- كما وتتأثر الخرسانة المعرضة لماء البحر بصدمات أمواج البحرية المتتابعة وبحركة الأحجار والمواد الغريبة الأخرى حيث تسبب تآكلها, كما وتسبب الكائنات الحية التي تعيش في ماء البحر في زيادة تلف الخرسانة ايضا".
*- إن تأثير الكبريتات في ماء البحر لا يؤدي إلى تمدد الخرسانة كما يحصل في الفحوصات المختبرية وذلك لوجود كميات كبيرة من الكلوريدات في ماء البحر فالجبس وسلفو الومينات الكالسيوم تذوب في محلول الكلوريدات أسرع مما تذوب في الماء وبذا ستغسل في ماء البحر بينما في الفحوصات المختبرية ستبقى في موضعها وتسبب التمدد.
*-إن امتصاص الخرسانة المسلحة للأملاح الموجودة في ماء البحر يؤدي إلى تكوين مناطق مصعدة(anode) وأخرى مهبطة(cathode) والفعل الالكتروني الناتج يسبب تجمع الصدأ حول حديد التسليح ويتبع ذلك تصدع وتمزق الخرسانة المحيطة به.

*- إن من أهم خواص الخرسانة في ماء البحر الواجب توفرها :-
1- أن تكون كثيفة وغير منفذة .
2- أن يكون الغطاء كافي لحديد التسليح(50-75 مم) .
3- أن تكون غنية بالاسمنت.
4- استعمال الاسمنت الالومينى ، المقاوم للكبريتات ، خبث الأفران العالية ، البوزولاني.

تأثير مياه المجاري على الخرسانة Effect of Sewage on Concrete

إن مياه المجاري تكون قلوية ولا تؤثر على الخرسانة ولكن عند ارتفاع درجات الحرارة تتحول مركبات الكبريت إلى كبريتيد الهيدروجين (H_2S) بفعل البكتريا الهوائية وهذا الاخير يذوب في طبقات الرطوبة على سطح الخرسانة ويعاني تأكسد بفعل البكتريا الهوائية متحولا إلى حامض الكبريتيك الذي يذيب الاسمنت بصورة تدريجية مسببا" تلفا" شديدا" للخرسانة. وهذا التأثير يحصل فوق مستوى الانسياب في مجاري المياه القذرة.

تأثير الجليد على الخرسانة الطرية Effect of Frost on Fresh Concrete

*- إذا تعرضت الخرسانة الطرية التي لم تتجمد أو تتماسك بعد إلى الانجماد فان ماء الخلط يجمد وينتج عن ذلك زيادة في الحجم الكلي للخرسانة.
*- كما ويتأخر تجمد وتصلب الخرسانة نظرا" لعدم توفر الماء للتفاعلات الكيمياوية وإذا استمر الانجماد تبقى عملية التجمد (Setting) معلقة.
*- عندما يتمدد ماء الخلط بسبب الانجماد فان ذلك يؤدي إلى إبقاء عدد كبير من المسامات في الخرسانة المتجمدة وهذا يجعل مقاومة الخرسانة واطئة.
*- وإذا حصل الانجماد بعد عملية التجمد ولكن قبل أن تكتسب الخرسانة أية مقاومة فان التمدد الناتج بسبب الجليد يسبب التمزق للخرسانة. أما إذا اكتسبت الخرسانة مقاومة كافية فان هذا يمكنها من أن تقاوم الانجماد بدون تلف.
*- وبصورة عامة كلما تقدمت عملية الاماهة كلما زادت مقاومة الخرسانة وتصبح الخرسانة اقل تأثرا" لهجوم الجليد.

تأثير الجليد على الخرسانة المتصلبة Effect of Frost on Hardened Concrete

*- عندما تنخفض درجة حرارة الخرسانة المتصلبة المشبعة يتجمد الماء داخل المسامات الشعرية لعجينة الاسمنت مسببا" تمدد الخرسانة. وعند تكرار الانجماد يحصل تمددا" إضافيا" لذا فان إعادة دورات الانجماد والذوبان يكون ذو تأثير كبير على الخرسانة.
*- أما مسامات الجل فتكون صغيرة جدا" وعند انخفاض درجة الحرارة يكتسب ماء الجل طاقة كامنة تمكنه من الحركة إلى داخل الفجوات الشعرية الحاوية على الجليد مما يسبب نمو جسيمات الجليد والتمدد أيضا" .
وعندما يكون الضغط التمددي الناتج من ضغط الماء داخل المسامات الشعرية وضغط ماء الجل أعلى من مقاومة الشد للخرسانة فان هذا يؤدي إلى تلف الخرسانة (تقشر سطح الخرسانة أو تفتتها كليا" مبتدأ" من سطح الخرسانة ومتوغلا" نحو عمقها.

التزهر Efflorescence

عندما يتسرب الماء(نتيجة الامتصاص أو ماء المطر) خلال الخرسانة الضعيفة الرص أو خلال الشقوق فان الماء يعمل على إذابة هيدروكسيد الكالسيوم المتكون أثناء عملية الاماهة والقابل للذوبان بسهولة والمواد الصلبة الأخرى وقد يسبب تلفا" خطيرا" للخرسانة.
وعند تفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مع ثاني اوكسيد الكاربون تتكون كاربونات الكالسيوم التي تترسب على سطح الخرسانة(على شكل طبقة بيضاء) عند حصول التبخر وهذه الظاهرة تعرف بالتزهر ويمكن ملاحظتها على أسطح عدد من المنشآت الخرسانية بهيئة ترسبات بيضاء.

الخرسانة الحاوية على الهواء المقصود Air- entrained Concrete

الهواء المقصود في الخرسانة هو هواء مدمج يدخل في الخرسانة الطرية خلال عملية الخلط بواسطة مواد مناسبة تؤدي إلى تكوين فقاعات هوائية صغيرة جدا" يتراوح قطرها بين (1.0-0.01) مم وموزعة بصورة منتظمة خلال الكتلة الخرسانية لغرض زيادة قابلية تشغيل الخرسانة الطرية ومقاومة الخرسانة المتصلبة لفعل الانجماد.

الغاية من استخدام الهواء المقصود:-

تقليل وزن الخرسانة وزيادة المتانة Durability وخاصة المقاومة للصقيع Frost Resistance ويتم ذلك عن طريق إحداث فقاعاتBubbles هوائية دقيقة (غير متصلة) موزعة توزيعاً منتظماً خلال الكتلة الخرسانية وتبقى كذلك بعد تصلب الخرسانة.

ويتم دمج الهواء المقصود بطريقتين :-

1- إضافة مواد تحدث رغاوى Foaming وذلك أثناء خلط الخرسانة مثل بعض المركبات العضوية كالأصماغ الخشبية والزيوت والمنظفات الصناعية.
2- إستخدام مواد صلبة تتفاعل مع الأسمنت وتنتج غاز الهيدروجين على هيئة فقاعات دقيقة كثيرة مثل مسحوق بودرة الألمنيوم وبودرة الزنك والمغنيسيوم (٢ % من وزن الأسمنت).

إن الحد الأعلى للهواء المقصود في الخرسانة يساوي تقريبا" (1/6 – 1/4) حجم عجينة الاسمنت (3- 10% من حجم الخرسانة).
ولا تؤثر هذه الإضافات على زمن التجمد للخرسانة بينما تؤدى إلى زيادة إنكماش الجفاف وتقل المقاومة فقد وجد أن هناك علاقة عكسية بين نسبة الهواء المحبوس في الخلطة ومقاومة الضغط للخرسانة.

ومن الضروري تمييز هذا الهواء عن الهواء المحصور عرضيا" والناتج من عدم اكتمال عملية الرص حيث تكون هذه الفجوات كبيرة وغير منتظمة الشكل مقارنة " بفجوات الهواء المقصود. كما وان فجوات الهواء المقصود مفصولة عن بعضها ولا تشكل ممرات لجريان الماء فهي لا تعمل على زيادة نفاذية الخرسانة ولا تمتلأ بنواتج الاماهة لان جسيمات الجل تتكون فقط عند توفر الماء.

الخواص الحرارية للخرسانة Thermal Properties

تعتبر الخواص الحرارية للخرسانة ذات أهمية كبرى في حالة الخرسانة الكتلية حيث يجب تقدير الزيادة في درجة الحرارة وكيفية توزيع الحرارة بالخرسانة وذلك لإمكان تصميم طريقة التبريد المناسبة لخرسانة المنشأ حتى لا تتسبب الزيادة في الحرارة فى تشريخها وتفتتها.كما أن الخواص الحرارية ذات أهمية كبرى أيضا في تقدير الإجهادات الناشئة بين الخرسانة وطبقات الحماية لأسطح الخرسانة حيث تتعرض الخرسانة لفارق في درجات الحرارة بين الجو الخارجي والخرسانة المغطاة مما يؤدى إلى وجود قوى عمودية تعمل على إنفصال طبقات الحماية عن الخرسانة. ومن أهم الخواص الحرارية الرئيسية للخرسانة:-

1- التمدد الحراري Thermal Expansion

تعتمد قيمة معامل التمدد الحراري للخرسانة على كل من نسب الخلط ومحتوى الرطوبة فيها في وقت تغيير درجة الحرارة. وتأثير نسب الخلط يأتي من اختلاف معامل التمدد الحراري لعجينة الاسمنت (1,1 – 2)×١٠-5 ومعامل التمدد الحراري للركام (0,5 – 1,3). ومعامل التمدد الحراري للخرسانة هو ناتج للقيمتين.
يسبب التمدد الحرارى إجهادات داخلية في الخرسانة سيما إن كانت مقيدة الحركة وهذه الإجهادات قد تسبب شروخاً وتفتتاً في الخرسانة إذا لم تؤخذ في الإعتبار. ويعتمد معامل التمدد الحرارى للخرسانة بدرجة كبيرة على نوع الركام المستخدم وتدرجه. وقيمة معامل التمدد الحرارى للخرسانة = ١×١٠-٥ لكل درجة مئوية (م). كما أن معامل التمدد الحرارى لحديد التسليح = ١,٢×١٠-5 لكل درجة مئوية. ولأغراض التصميم فإنه لكل من الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة يؤخذ معامل التمدد الحرارى مساوياً1×١٠-٥ لكل درجة مئوية.

$$\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ cm / cm . co}$$

والإجهادات الحرارية (σ) يمكن حسابها من المعادلة:

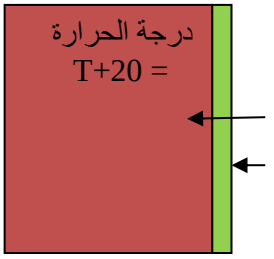
$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot (\Delta T)$$

حيث E معامل المرونة، α ، معامل التمدد الحرارى ، (ΔT) فرق درجة الحرارة.

مثال:-

إذا كان فرق درجات الحرارة المتوقع بين الجو الخارجي والخرسانة المغطاة بطبقة حماية هو عشرون درجة مئوية فإحسب إجهادات القص المتولدة بين الخرسانة وطبقة الحماية إذا كان معامل المرونة للخرسانة هو 2000 نت/مم2.

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot (\Delta T)$$
$$= 2000 \times 1 \times 10^{-5} \times 20$$
$$= 0.4 \text{ N/mm}^2$$



2- التوصيل الحراري Thermal Conductivity (k)

وتعرف بأنها كمية الحرارة التي تمر عمودياً على السطح في وحدة الزمن خلال مقطع متجانس من المادة مساحته وحدة واحدة وسمكه وحدة واحدة عندما يوجد فرق في درجات الحرارة بين سطحي المادة مقداره وحدة واحدة. وتختلف هذه الخاصية بإختلاف درجات الحرارة وإختلاف كثافة المادة ودرجة تشبعها بالرطوبة ، وتقدر بوحدات جول.م/ ثا . م2 .م°.

وقيمة الموصلية الحرارية لمواد البناء الأساسية مثل الطابوق بأنواعه والخرسانة والمواد الجبسية تتراوح من ٠,٢ إلى ٢,٠ جول.م/ ثا . م2 .م° أما المواد العازلة المستخدمة في المباني مثل البوليسترين والخرسانة الخفيفة الخلوية فتكون لها موصلية حرارية منخفضة تتراوح بين 0,2 إلى ٠,٢ جول.م/ ثا . م2 .م°.

3- المقاومة الحرارية Thermal Resistance (R)

هي مقياس لقدرة المادة على تقليل سريان الحرارة خلال وحدة المساحات لسمك العينة المختبرة ، ويمكن حساب مقاومة المادة للحرارة وذلك بقسمة سمك العينة (L) على الموصلية الحرارية (k), وتقدر بوحدات م٢. م° / جول.

$$(R= L/k)$$

4- الحرارة النوعية Specific Heat (Cp)

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كغم من المادة درجة مئوية واحدة. ويقدر بوحدات جول/ كغم .م° .

5- السعة الحرارية لوحدة الحجوم Volumetric Heat Capacity (C_V)

هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة الحجوم من المادة درجة واحدة مئوية ، وتقاس السعة الحرارية بوحدات جول/ م٣ م°. ويمكن تعيين قيمة السعة الحرارية حسابياً بحاصل ضرب الكثافة (ρ) في

الحرارة النوعية للمادة (C_P).

$$(C_V) = \rho \times (C_P)$$

6- الانتشارية الحرارية Thermal Diffusivity (γ)

الإنتشارية الحرارية تمثل سرعة إنتشار الحرارة خلال المادة أو بين سطحي المادة وهى عبارة عن خارج قسمة الموصلية الحرارية على السعة الحرارية لوحدة الحجوم. وتقدر بوحدات م٢/ثانية.

$$\gamma = k / C_V$$

وتعتبر الموصلية الحرارية (k) من أهم الخصائص الحرارية للمواد الإنشائية يلى ذلك خصائص أخرى مثل الحرارة النوعية للمادة والإنتشارية الحرارية وتفيد دراسة هذه الخصائص في الأحوال الآتية:

أ - معرفة كمية الحرارة المنبعثة من الخرسانة الكتلية.

ب- معرفة خواص الجدران الخرسانية من وجهة مدى الإحتفاظ بالحرارة.

مقاومة الخرسانة للحريق Fire Resistance

مقاومة عنصر خرساني ما للحريق هي الفترة الزمنية التي يتحمل خلالها هذا العنصر الحريق ويقاوم نفاذ اللهب والغازات الساخنة من خلاله و تتوقف مقاومة الخرسانة للحريق على العوامل الآتية:-

١- **سمك المنشأ الخرساني** : تزيد المقاومة كلما كبر سمك المنشأ وتعتبر الخرسانة الكتلية أكثر الأنواع مقاومة للحريق.

٢- **نوع المنشأ (مصمت أو مفرغ):** تقل مقاومة الخرسانة المصمتة للحريق عن المفرغة وينبغي مراعاة أن تحتفظ الخرسانة بمقاومتها للأحمال بعد تعرضها لحرارة الحريق. وغالباً فإنه إذا استمر الحريق أكثر من ساعة أو إثنين فإن ذلك يجعل الخرسانة تصل لدرجة حوالى ألف درجة مئوية مما يجعلها لا تصلح بعد ذلك كمادة إنشائية نظراً لتشريخها الشديد مع تكسرها بتمدد حديد التسليح وتفتتها في مواضع مختلفة.

٣- **نوع الركام** : يوجد بعض أنواع الركام ذات مقاومة عالية للحريق مثل الركام الخفيف الوزن (خبث الأفران - كسر الحجر ... إلخ) يليها كسر الحجر الجيري ثم يأتي بعد ذلك ركام الرمل والحصو.

٤- **نوع الأسمنت وكميته** : إذا تعرض الأسمنت بالخرسانة (أي الذى تجمد وتصلب) إلى الحرارة العالية فإنه - نظراً لإحتوائه على الماء- ينكمش ثم يتمدد بعد ذلك مما يسبب تفتت للخرسانة نتيجة لتوصيلها الرديء للحرارة مما يؤدى إلى فرق كبير في الحرارة بين خارج الخرسانة وداخلها مما يولد إجهادات تسبب شروخ وتفتت للخرسانة.

وتؤثر الحرارة العالية تأثيرا سيئاً في حالة الأسمنت البورتلاندي نظراً لوجود الجير الحر الذى يتكلس ويعاود الاتحاد مع الماء مما يسبب الزيادة في الحجم وبالتالي تشريخ الخرسانة فكلما قل الجير الحر بالأسمنت كلما تحسنت مقاومته للحريق. فالإسمنت الحديدي أو الإسمنت العادي المخلوط بالمواد البوزولانية أفضل من الأسمنت البورتلاندي العادي. أما الأسمنت الألومينى فيعتبر أحسنها من هذه الوجهة نظراً لعدم احتوائه على الجير الحر. وتعتبر أكثر أنواع الخرسانة مقاومة للحريق هي تلك المصنوعة من أسمنت ألومينى و ركام خفيف.

وعلى أي حال فإنه يمكن إستخدام الأسمنت البورتلاندي العادي في عمل الخرسانة المقاومة للحرارة حتى درجة ١٥٠ درجة مئوية بشرط أن تُعمل الإحتياطات لتسخين الخرسانة تدريجياً ويكون التغير في درجة الحرارة بطيئا. أما إذا تعرضت الخرسانة لحوالي ١٠٠٠ درجة مئوية كما في بعض المنشآت مثل أساسات الأفران والمراجل فإننا نستخدم الخرسانة المكونة من الأسمنت الألومينى وركام كسر الطابوق الحراري.

الفصل الحادي عشر

الفحوصات الغير متلفة للخرسانة
Non-Destructive Testing of Concrete

الاختبارات الغير متلفة للخرسانة Non-Destructive Testing of Concrete

الفحوص الغير اتلافية طريقة يمكن معرفة خواص الخرسانة في الموقع أو المختبر دون الحاجة إلى تلف جزء من المنشأ أو النموذج وهي الطريقة ألأفضل للوصول إلى نتائج محددة حول قابلية تحمل الخرسانة موقعيا" .وقد توسعت مجالات استعمالها في تحديد موقع الفراغات وحديد التسليح في الخرسانة وسمك الغطاء الخرساني في المنشأ حيث تحديد هذه العوامل لا يقل أهمية عن تحديد قابلية تحمل الخرسانة. وان استخدام الفحوص الغير اتلافية وخاصة طريقة الذبذبات فوق الصوتية وطريقة المطرقة في تقيم المنشآت ويعتبر من الطرق المهمة في الوصول إلى قرار القبول أو اللجوء إلى طرق أخرى أكثر دقة.

الهدف من الاختبارات

تهدف الاختبارات غير المتلفة للخرسانة إلى إختبار العضو الخرساني دون حدوث أي تلف او إنهيار به. وتعتبر إختبارات مقاومة الضغط من أهم الإختبارات التي تساعد المهندس الإنشائي في كتابة تقرير هندسي عن حالة مبنى قائم.

اسباب اللجوء الى هذه الاختبارات

١- عدم إجراء إختبارات مقاومة الضغط للخرسانة.
٢- عند وجود مشكلة بالمنشأ - مثل ظهور شروخ وتصدعات.
٣- عدم إلتزام المقاول ببعض التعليمات مثل فك القوالب الخشبية مبكرا" والصب دون إشراف هندسي.
٤- عدم قيام المقاول بإتمام أعمال المعالجة للخرسانة.
٥- عند الشك في نوع الأسمنت المستخدم.
٦- ورود نتائج إختبارات مقاومة الضغط غير مطابقة للمقاومة المطلوبة وقد يكون ذلك نتيجة ضعف الخرسانة أو نتيجة أسباب أخرى مثل:-
- طريقة أخذ مكعبات الخرسانة.
- طريقة وضع المكعب في الماكينة ومعدل وضع الحمل على العينة.
- سقوط المكعب أثناء المناولة.
- فك المكعب قبل مرور ٢٤ ساعة.
- كسر المكعبات قبل مرور المدة المطلوبة (٧ أو ٢٨ يوم).
- ترك المكعبات دون معالجة حتى تاريخ الإختبار.
- عدم تجانس خرسانة المكعب (أثناء أخذها).
- تكسير أحرف المكعب عند فك القوالب نتيجة عدم إستخدام مادة عازلة.

اهم الاختبارات الشائعة في مجال الخرسانة

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

١- إختبار مطرقة شميدت Schmidt Hammer

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

مميزات مطرقة شميدت

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

طريقة عمل الجهاز

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

انواع الاجهزة

تختلف الأجهزة من حيث قراءة رقم الإرتداد إلى نوعين :-
أ - أجهزة تقرأ النتيجة على تدرج بجسم الجهاز شكل(8-1).
ب - أجهزة مزودة بأداة تسجيل للقراءة على شريط ورقى شكل(8-2).

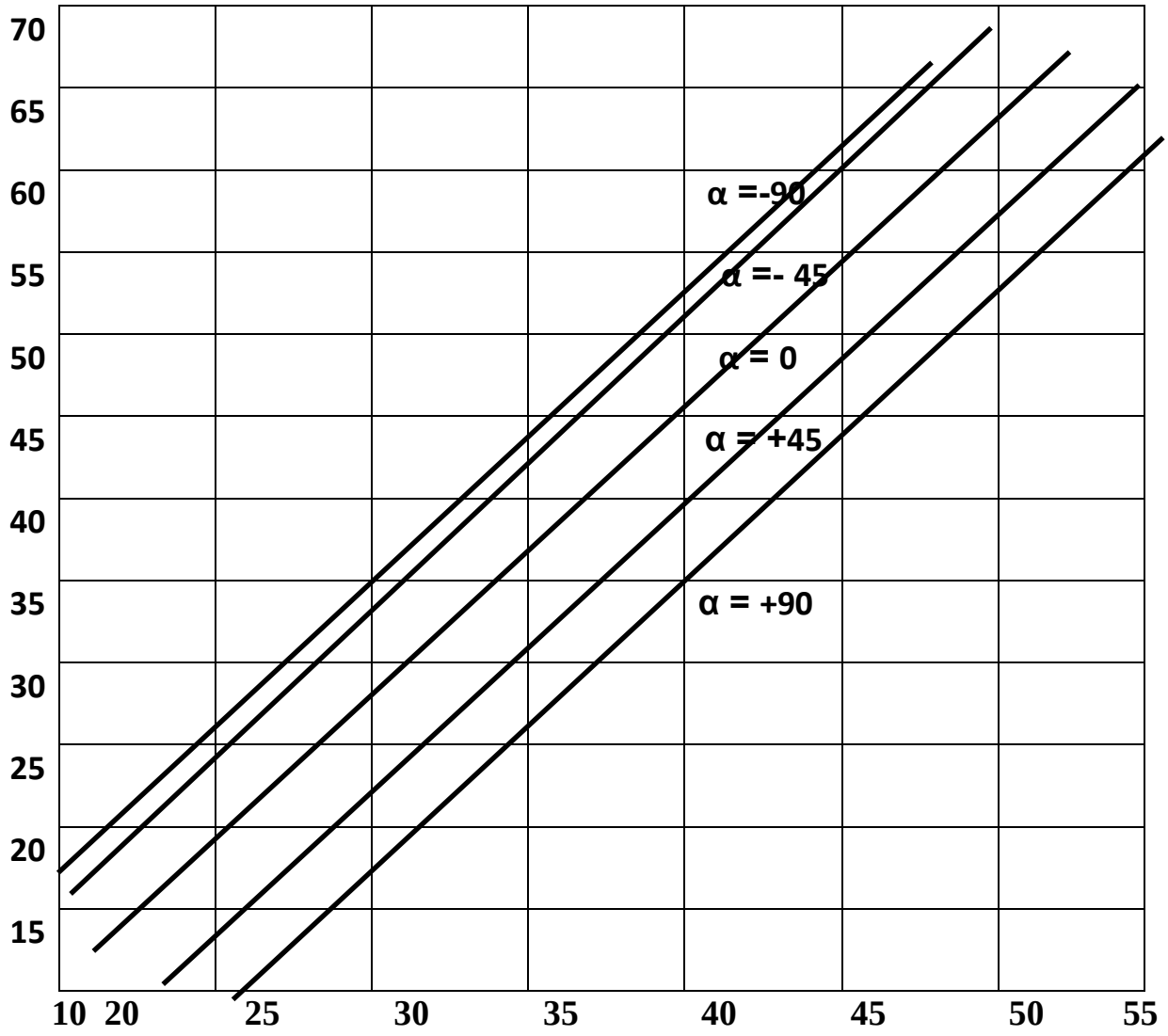
ويفضل استخدام النوع الثاني للأسباب التالية:-
1- يمكن لشخص واحد إستخدامه حيث أن تسجيل القراءة يتم أوتوماتيكيا.
٢- يعتبر أسهل في الإستخدام و يمكن الرجوع إلى التسجيل البياني للقراءة في أي وقت.
٣ - منع التلاعب أثناء إستخدام الطريقة الأولى عند تدوين القراءة بواسطة شخص آخر غير الذى يقوم بأخذ القراءات.
٤- نسبة الخطأ أقل من الحالة الأولى.

شكل(8-1) مطرقة عادية

شكل(8-2) مطرقة مزودة بشريط ورقى لكتابة النتائج.

<u>طريقة اجراء الاختبار</u>

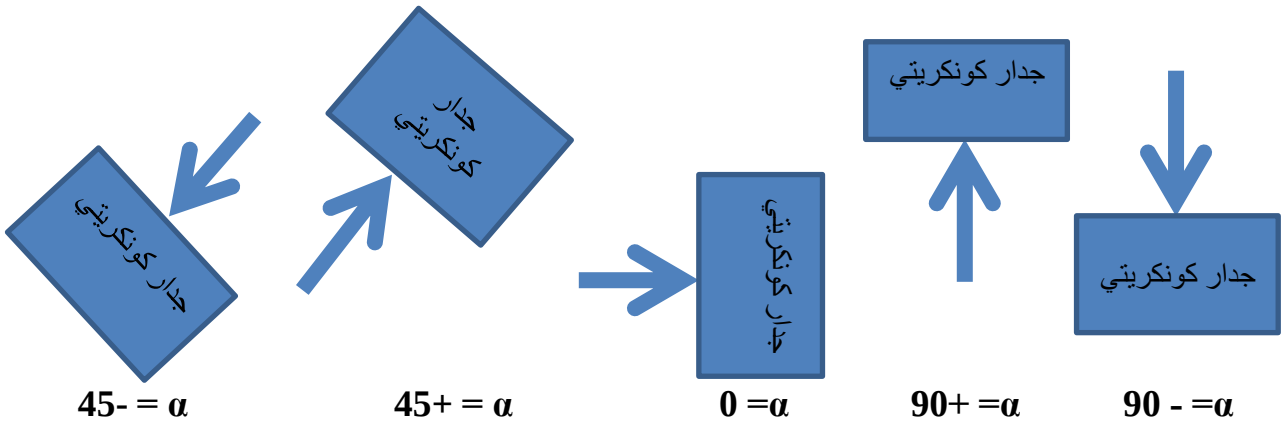
١ -تحدد مساحة على العضو الإنشائي في حدود ٣٠×٣٠ سم.
٢- يؤخذ عدد من القراءات حوالى ١٥ قراءة موزعة داخل المساحة.
٣- لا تقل المسافة بين كل قراءتين عن ٢,٥ سم.
4- لكل نقطة على حدة يحسب متوسط رقم الإرتداد وتحذف القراءات الشاذة بحيث لا يزيد الفرق بين أي رقم إرتداد و المتوسط عن ٥ وحدات. ويعتبر رقم الإرتداد مقبول إذا كان ثلثي القراءات لا تنحرف عن المتوسط بمقدار± ٢,٥ وحدة.
5- يتم تحويل رقم الإرتداد المتوسط الخاص بكل نقطة إلى مقاومة ضغط نيوتن/مم ٢ بإستخدام شكل رقم (8-3).
6- توضع النتائج الخاصة بجميع النقط في جدول وتحسب مقاومة الضغط المتوسطة للخرسانة بحيث لا يزيد معامل الإختلاف لمفردات مقاومة الضغط عن ١٥%.



شكل رقم (8-3) العلاقة بين مقاومة الضغط ورقم الإرتداد (R)

تمت معايرة هذه الأجهزة على الوضع الأفقي أي لإختبار أسطح رأسية مثل الجدران والأعمدة وبذلك أعتبرت زاوية ميل الجهاز بالنسبة للمستوى الأفقي $\alpha = 0$ كما في شكل رقم (8-4).

يمكن استخدام الجهاز للأسطح المائلة بزاوية ٤٥ $\alpha = \pm 45°$
أوفى الوضع رأسيا لإختبار الأسقف $\alpha = +90°$
أو الأرضيات $\alpha = -90°$



شكل (8-4) استخدام المطرقة بأشكال مختلفة

يتم تصحيح القراءات طبقا للمنحنيات المناسبة ففي حالة الزوايا الموجبة يتم التصحيح بطرح بعض القيم من قراءة المؤشر نتيجة تأثير الجاذبية الأرضية أما في حالة الزوايا السالبة فيتم التصحيح بإضافة بعض القيم الى قراءة المؤشر جدول رقم (8-1).

R	↑ +90	↑ +45	↓ -45	↓ -90
10			+2.4	+3.2
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.9	-2.1	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

جدول رقم (8-1) التصحيح الخاص بزاوية ميل مطرقة الإرتداد

2- الموجات فوق الصوتية Ultrasonic Pulse Velocity

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

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

شكل (8-5) جهاز الموجات فوق الصوتية الشائع الإستخدام في مجال الخرسانة.

1- قياس مقاومة الضغط.

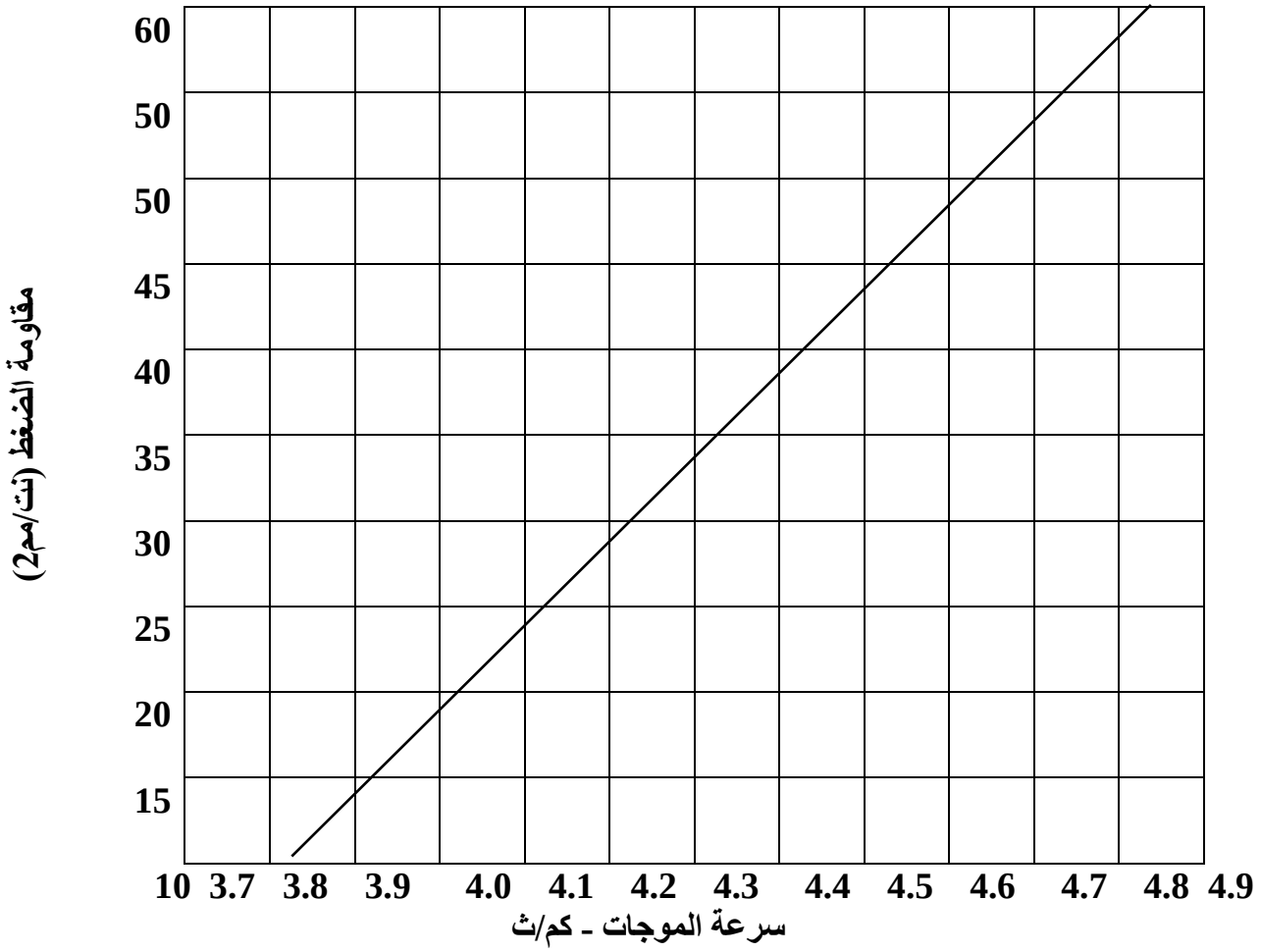
طريقة اجراء الاختبار

1- يتم ضبط الجهاز مع جزء المعايرة المرفق مع الجهاز قبل بدء الإختبار على العينة.
2- يتم قياس المسافة التي تسيرها النبضات Path Length بدقة (أي طول السير).
3- يوضع المرسل Transmitter والمستقبل Receiver على العينة وأن يكون الإتصال تام بين سطحي المرسل والمستقبل وسطح العينة (يستخدم لهذا الغرض الشحم أو الصابون السائل).
4- عند وضع المرسل والمستقبل على العينة يستمر هذا الوضع حتى تثبت القراءة وإذا تأرجحت النتائج بين قراءتين يؤخذ المتوسط.
5- يكون الرقم معبراً عن الوقت (T) لسريان النبضات خلال الجزء المختبر.
6- تكون سرعة النبضات (V) كالآتي:

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

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

7- يستخدم منحنى المعايرة الخاص (شكل 8-6) لإيجاد مقاومة ضغط المكعب المكافئ وقد وضع هذا المنحنى على أساس إختبار مجموعة كبيرة من العينات ذات المقاومة المختلفة وتم قياس سرعة النبضات في كل حالة.
دقة النتائج تتراوح بين ± ٢٠ % من القيمة الفعلية لمقاومة الضغط.



شكل رقم (8-6) العلاقة بين سرعة الموجات و مقاومة الضغط.

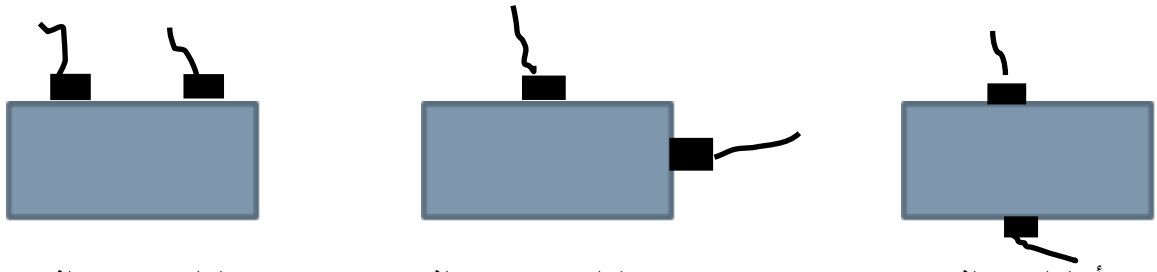
<u>وضع المرسل والمستقبل</u>

توجد ثلاث طرق لوضع المرسل والمستقبل كما في الشكل(8-7):-

1- في إتجاهين متضادين (قياس مباشر) Direct Transmission
2- في الجوانب المجاورة (قياس نصف مباشر) Semi-direct Transmission
3- في نفس السطح (قياس غير مباشر) Indirect Transmission

تستخدم الطريقة الأولى في حالة إمكانية وضع المرسل والمستقبل بهذا الوضع كما في شكل (8-7- أ) ويمثل ذلك أفضل وضع. اما في الطريقة الثانية فيتم الإنتقال على طول السطح وذلك في حالة إمكانية الوصول الى سطح واحد فقط من العنصر المختبر كما في شكل (8-7- ب). وفى هذه الحالة تكون العملية أقل كفاءة من السابق لأن أكبر طاقة تتجه إلى داخل الخرسانة.

والطريقة الغير مباشرة لا تعطى معلومات عن الخرسانة الضعيفة والتي تكون تحت السطح القوى المتصلد كما أن تحديد طول المسار أقل دقة وقد وجد أن السرعة في هذه الحالة أقل من الحالة المباشرة كما في شكل (8-7- ج) .



أ- قياس مباشر ب- قياس نصف مباشر ج- قياس غير مباشر

شكل (8-7) الأوضاع المختلفة للمرسل والمستقبل.

العوامل المؤثرة على النتائج

١- نسبة الرطوبة

العينات المشبعة تعطى نتائج أعلى من العينات الجافة.

٢- درجة الحرارة

درجات الحرارة العادية لا تؤثر على سرعة النبضات.

٣- نوع الركام

يتأثر زمن إنتقال النبضات بنوع الركام المستخدم وشكله وحجمة ونسبة الخلط.

٤- تأثير درجة التصلد.

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

٥- تأثير طول المسار.

لا يؤثر طول المسار على نتائج قياس سرعة النبضات مع ملاحظة أن لا يكون صغيراً جداً وإلا سيكون الوسط الغير متجانس للخرسانة ذات تأثير كبير.

٦- تأثير عمر الخرسانة.

تتأثر سرعة الموجات بزيادة العمر حتى عمر ٧ أيام.

٧- تأثير حديد التسليح.

يفضل تفادى حديد التسليح إذا أمكن ذلك حيث أن له تأثير في زيادة سرعة النبضات (سرعة النبضات في الحديد ٩, كم/ث).

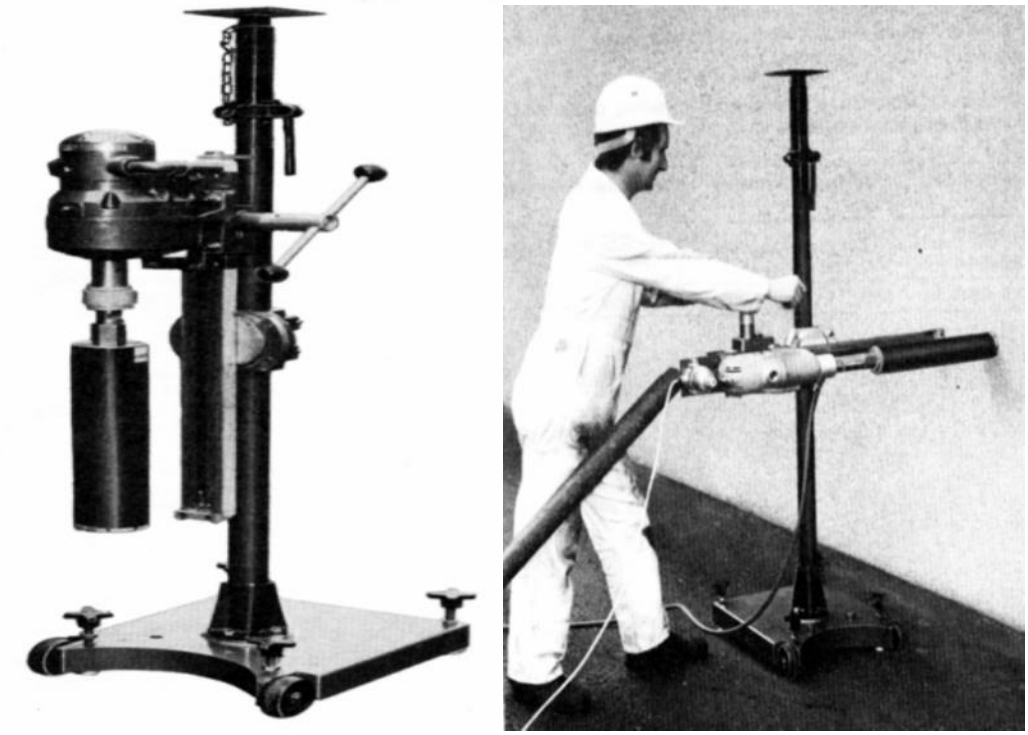
هذا وتوجد حالتين لوضع حديد التسليح بالنسبة لخط سريان النبضات.

الحالة الأولى أن يكون محور قضيب التسليح عمودي على مسار النبضات وفى هذه الحالة تتأثر القراءات بقطر القضيب التي تعترض مسارها ويتم تطبيق معامل تصحيح يعتمد على قطر القضيب بالخرسانة.

الحالة الثانية عندما يكون محور قضيب التسليح موازى لخط السريان في هذه الحالة تخرج أول موجه وتتجه لتسير خلال القضيب في المنطقة الموجود فيها. في هذه الحالة يطبق معامل تصحيح آخر.

3- إختبار اللباب الخرسانى Core Test

يعتبر هذا الإختبار إختباراً نصف متلف ويستخدم لتعيين مقاومة الضغط للخرسانة بصورة حقيقية وواقعية ويكون ذلك بواسطة إختبار عينة منتزعة (القالب الخرساني) من بعض الأعضاء الإنشائية الأساسية.
الجهاز عبارة عن مثقاب به آلة ثقب إسطوانية هي عبارة عن إسطوانات بأقطار مختلفة مزودة بفدية من سبيكة خاصة مخلوطة ببرادة الماس ولها خاصية القطع في الخرسانة اثناء دوران الإسطوانة بواسطة الجهاز الذى يعمل بالضغط الهيدروليكي شكل رقم (8-8).



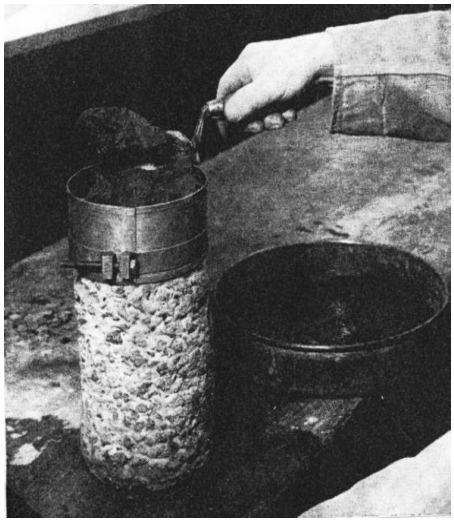
شكل (8-8) جهاز اللباب الخرسانى و أخذ عينة أفقية من حائط.

استخراج العينة

يعتبر قطر العينة ١٥٠ مم هو القياسي إذا كانت الخرسانة من القوة بحيث لا تتأثر بالكسر أثناء إنتزاع العينة من الخرسانة. وقطر ١٠٠ مم هو الشائع الإستخدام. ولايقل قطر العينة عن ثلاثة أضعاف أكبر مقاس للركام بها. وتكون نسبة طول العينة إلى قطرها في المدى من ١ إلى ٢ وعموماً فإن طول العينة يلزم أن لا يقل عن قطرها شكل رقم(8-9).
يجب أن تستخرج العينة عمودية على السطح الموجود فيه ويدون رقم العينة ومكانها واتجاه أخذها مباشرة. ويجب أن يملئ مكان العينات المأخوذة وفقاً للأسس الفنية بمونة غير قابلة للإنكماش وذات مقاومة عالية لتجنب حدوث أي ضعف للعنصر تحت الإختبار.
- يتم تجهيز السطح حتى يكون مستوياً تماماً وأفقياً لإستخدامه في ماكينة الإختبار ويتم ذلك أما بنشر نهايتي العينة أو تجليخهما أو بعمل غطاء Cap بسمك قليل لا يزيد عن ١٠ مم بمونة الاسمنت الالومينى (او الاسمنت الفائق النعومة) والرمل بنسبة (1- 3) تصب هذه المونة بوضع حلقة مستوية وأفقية حول العينة ثم تصب المونة ويسوى سطحها

ويوضع فوقها قطعة مسطحة من الزجاج المستوى (سمك ٨مم) أو من الحديد بعد دهانها بالزيت وفى اليوم الثاني تكرر العملية للطرف الآخر من العينة شكل رقم (8-10).

شكل رقم (8-9)
مجموعة من القوالب الخرسانية المستخرجة



شكل رقم (8-10)
عمل غطاء لأطراف القالب الخرساني

<u>طريقة الفحص</u>

- يتم إجراء الإختبار مباشرة بعد إستخراج العينات من الماء (أي بعد وضعها في الماء لمدة لا تقل عن ٤٨ ساعة) وهى مبللة.
- ينظف مكان العينة بالماكينة وأسطح العينة من أي أتربة أو عوالق.
- توضع العينة رأسياً تماماً في محور الماكينة.
- لا توضع أي قطع مساعدة أعلى العينة.
- يؤثر الحمل على العينة بمعدل منتظم يتراوح بين ٢-4 نت/مم2/ثا ويستمر حتى حدوث الكسر.
- يتم عمل وصف لحالة الإنهيار.

<u>قبول نتائج الفحص</u>

1- يتم عمل ثلاث عينات للفحص.
2- تعتبر الخرسانة مقبولة اذا كان متوسط المقاومة المحسوبة لثلاث نماذج مستخرجة لا يقل عن 85% من المقاومة المطلوبة.
3- يجب ان لا تقل المقاومة المحسوبة لأي عينة مستخرجة عن 75% من المقاومة المطلوبة.
4- اذا لم تتحقق هذه النتائج يجرى فحص التحميل.

4- إختبار التحميل Loading Test

الغرض من الإختبار هو إختبار كفاءة العنصر الإنشائي في تحمل الأحمال التصميمية التي صُمم من أجلها. ويجرى الإختبار على البلاطات أو الأسقف أو المنشأ ككل. أما العناصر الغير معرضه لعزوم إنحناء مثل الأعمدة أو القواعد يتم تقييم أمانها عن طريق التحليل الإنشائي ولا يجوز عمل إختبارات تحميل لها.

متى يتم اجراء الاختبار

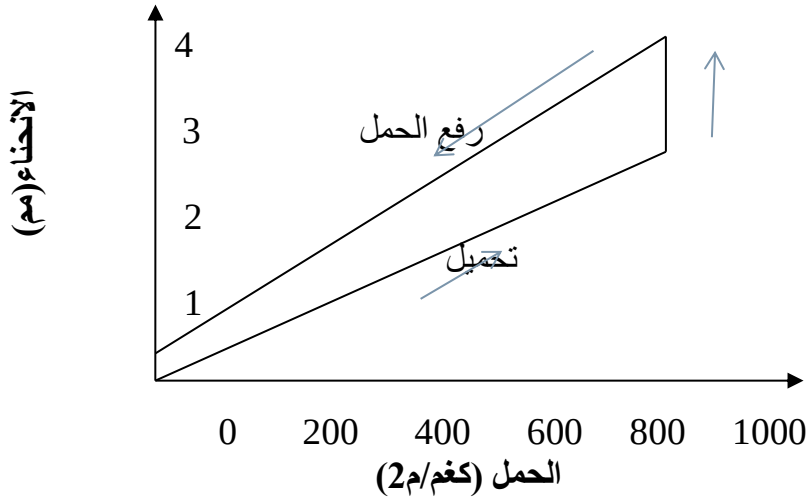
- إذا كان هناك شك في كفاءة المنشأ.
- إذا كانت هناك أسباب تدعو إلى ذلك مثل وجود هبوط غير منتظم في أجزاء من المنشأ.
- إذا فشلت نتائج فحص اللباب الخرساني.
- إذا نُص على ذلك في المواصفات والإشتراطات الخاصة بالمشروع.

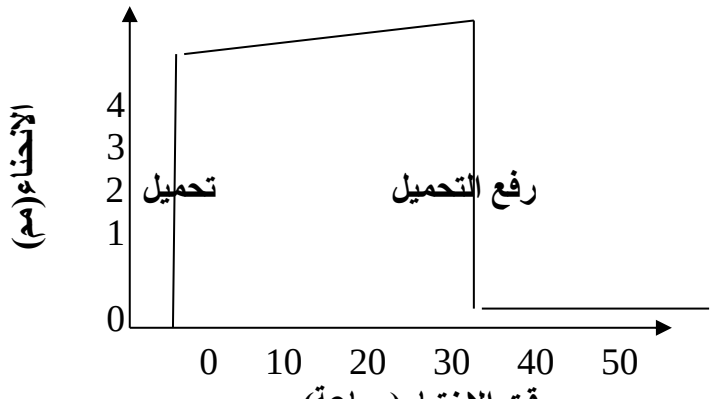
ولا يتم إجراء الإختبار قبل مرور ستة أسابيع من إبتداء تصلد الخرسانة.

القياسات المطلوبة

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

ويمكن رسم العلاقات بين الحمل وسهم الإنحناء وكذلك العلاقة بين الزمن وسهم الإنحناء كما في شكل رقم (8-11)





شكل(8-11) العلاقة بين الحمل و الإنحناء وبين الزمن و الإنحناء

كيف يحمل المنشأ:-

يعرض جزء المنشأ المراد إختباره لحمل مقداره:

1,4]0,85 (الأحمال الميتة) + 1,6 (الأحمال الحية)]

مع مراعاة إجراء التحميل على أربعة مراحل متساوية تقريباً بدون إحداث أي صدمات أثناء التحميل.

الاحتياطات اثناء الاختبار

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

متى يكون العمل مقبولا"

1- إذا كانت أكبر قيمة لسهم الإنحناءδmax في العنصر المختبر أقل من أو تساوى:

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

L_t = طول فضاء البلاطة (مم)
t = سمك العضو الخرساني (مم).

ملاحظة:- تؤخذ L_t هي طول الإتجاه الأصغر في حالة البلاطات ذات الإتجاهين.

2- إذا زاد سهم الإنحناء الأقصى عن القيمة المحسوبة بالمعادلة السابقة فيجب أن يكون الجزء المسترجع من سهم الإنحناء الأقصى بعد ٢٤ ساعة من رفع الحمل لا يقل عن ٧٥ % من قيمة سهم الإنحناء الأقصى - وعرض الشروخ في حدود المسموح به.
3- إذا لم يختف ٧٥ % من سهم الإنحناء الأقصى فيجب إعادة الإختبار بنفس الطريقة السابقة بعد مدة لا تقل عن ٧٢ ساعة على رفع وإزالة أحمال التجربة الأولى.

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

ومن الممكن اجراء بعض المعالجات للمنشأ منها:-

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

ويعتبر المنشأ غير صالح للإستعمال للغرض الذى أنشئ من أجله إذا كانت جميع هذه الإجراءات غير كافية.

المصادر References

1- الخرسانة أ.د. محمود الامام

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

3- الانترنيت.