وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الشمالية
المعهد التقني الموصل
قسم التقنيات المدنية
فرع البناء والانشاءات
المرحلة : الثانية

تقنية الخرسانة 2
(المقرر الثاني)

مقاومة الخرسانة
(Strength of Concrete)

المقدمة:

بصورة عامة يمكن اعتبار مقاومة الخرسانة من اهم خواصها غير انه في حالات عملية عديدة قد تكون خواص اخرى كالمتانة وعدم النفاذية اثر اهمية من المقاومة ومع ذلك فان مقاومة الخرسانة تعطي صورة شاملة عن نوعيتها ودليل جيد لمعظم خواصها الاخرى ذات الاهمية العملية لان مقاومة الخرسانة تتعلق بصورة مباشرة بهيكل وبنية عجينة الاسمنت المتصلبة. وبصورة عامة تكون الخرسانة ذات المقاومة العالية أكثر صلابة واقل نفاذية للماء وذات مقاومةعالية للتقلبات الجوية والوسائل الاخرى ومن ناحية اخرى تبدي الخرسانة ذات المقاومة العالية المؤثرة الاخرى انكماشآ أعلى وقابلية تمددية قليلة فإنها تكون معرضة للتشقق بدرجة اكبر٠ان هذه العلاقات إضافة الى كون فحوصات المقاومة سهلة الإجراء مقارنة مع الفحوصات الاخرى تشكل الأساس لاستعمال المقاومة في المواصفات والسيطرة النوعية وتقدير تأثير العوامل المختلفة كالمواد المستعملة ونسب الخلط وطرق انتاج الخرسانة والمعدات المستعملة وظروف المعالجة علما بان طرق الفحص غالبآ ماتؤثرعلى قيم النتائج المختبرية, ان مقاومة الخرسانة تنتج عن:

1- مقاومة الملاط.
2- قوة التلاصق بين الملاط والركام الخشن.
3- مقاومة حبيبات الركام الخشن للاجهادات المسلطة.

طبيعة مقاومة الخرسانة:

يعبرعادة عن مقاومة الخرسانة المستعملة للاغراض الانشائية بوحدة القوة(الاجهاد) اللازمة للتسبب في تصدعها فالتصدع قد يكون بسبب الشد المسلط (فقدان التماسك) بسبب اجهاد الانضغاط او بسبب اجهاد القص لقد تم الاشارة سابقآ الى تأثير الفجوات على مقاومة الخرسانة ومن الممكن ربط هذا العامل بطبيعة الية الفشل الحاصل ولهذا الغرض فان الخرسانة تعتبر مادة قصينة اذا وضعت تحت تأثير حمل ثابت يحصل التصدع مع الحصول مقدار قليل من الانفعال الكلي علمآ بانه عند الفشل يعتبر الانفعال الذي مقداره (0.001-0.005) حد اعلى للسلوك القصف ومن هذا الاعتبار فان مقاومة الخرسانة في الشد والقص تكون اضعف منها في الانضغاط مقاومة الشد الفعلية لعجينة الاسمنت او المواد القصية المشبهة كالحجر تكون اضعف بكثير من المقاومة النظرية المحسوبة على أساس التماسك الجزئي والمحسوبة من الطاقة السطحية على افتراض ان المادة متجانسة وخالية من الثغرات ,ان أساس هذا الاختلاف بين مقدار النظرية والمقاومة الفعلية هو وجود الثغرات المفترضة من قبل العالم (Griffith) والتي تؤدي الى حدوث اجهادات عالية في المادة تحت تاثير الحمل وتسبب حدوث فشل مجهري في موقعها ٠واعتياديآ يفترض بان وحدة الحجم الحاوية على اضعف ثغرة تحدد مقاومة النموذج الكلية ويعني ذلك بان التشقق سينتشر خلال مقطع النموذج المعرض لإجهاد معين هذا السلوك من الممكن ملاقطه فقط تحت توزيع للإجهاد وبافتراض إضافي بان ثاني اضعف ثغرة سوف لن تقاوم اجهاد قدره (N/N-1) مضروبا في الاجهاد الذي تسببه في فشل اضعف ثغرة علمآ بان N تمثل عدد الأجزاء في المقطع تحت تاثير الحمل وعلى اعتبار كل جزء يحوي ثغرة واحدة ,علمآ بان الثغرات تختلف بالمقاس والقليل منها ذات المقاس الاكبر فقط تسبب الفشل يتضح من ذلك بان مقاومة النموذج تصبح مسالة احتمالات احصائية وان مقاس النموذج يؤثر على مقدار الاجهاد الاسمي المحتمل لحصول الفشل فيه

يتضح مما ورد اعلاه بانه في نموذج معين تؤدي اجهادات مختلفة الى تصدعات في نقاط مختلفة ولكن ليس من المحتمل فيزياويآ فحص المقاومة لجزء منفرد دون تغيير ظروفه بالنسبة لبقية الجسم فاذا كانت مقاومة النموذج تعتمد على أضعف جزء فيه فان المسالة ستكون فشل أضعف ربط في سلسلة متصلة لذا فان مقاومة مادة قصينة كالخرسانة لئيمكن وصفها بمعدل القيمة فقط، ولكن لابد من اعطاء فكرة عن التغيرات المتوقعة في المقاومة بصورة احصائية اضافة الى معلومات أخرى عن شكل ومقاس النموذج

انواع مقاومة الخرسانة :

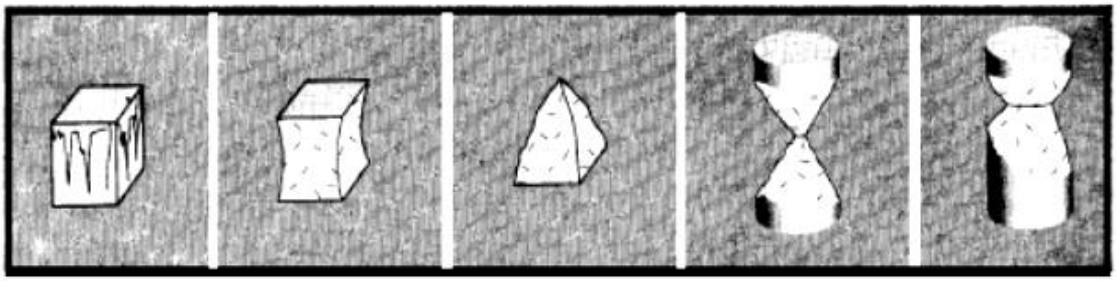
1- مقاومة الانضغاط (Compression Strength).
2- مقاومة الشد (Tensile Strength):
أ- مقاومة الانحناء (Bending Strength)
ب - مقاومة الانشطار (Splitting Strength)
3- مقاومة القص (Shear Strength)
4- مقاومة الكلل (Fatigue Strength)

1- مقاومة الانضغاط: (Comression Strength)

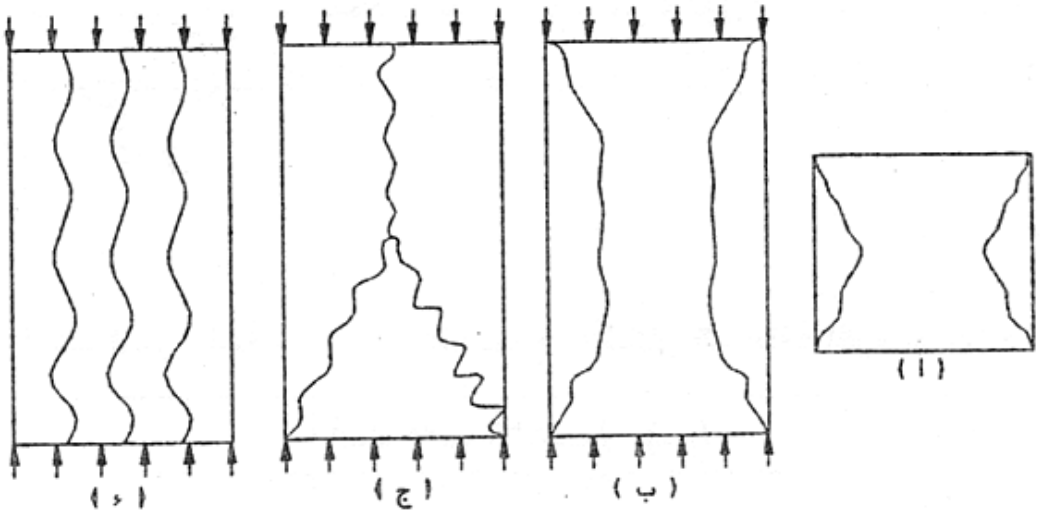
معظم المنشأت الخرسانية مصممة على اعتبار ان الخرسانة تقاوم اجهادت الانضغاط فقط لاتقاوم اجهادات الشد (عدا في حالات نادرة كالخرسانة المستعملة في انشاء الطرق) لذا ولاغراض التصميم الانشائي فان مقاومة الانضغاط هي المعيار في تحديد نوعية الخرسانة وان الاجهادات التشغيلية محددة في المواصفات العالمية كنسبة مئوية من مقاومة الانضغاط المعينة بفحوصات قياسية لنماذج خرسانية اسطوانية او بهيئة مكعبات.
في فحص الانضغاط من المحتمل ان يتاثر الفشل الحاصل بنماذج من هذا النوع بالانفعال الجانبي الناتج عن نسبة بوسون والتي قيمتها في الخرسانة بصورة عامة بين(0.11) للخرسانة ذات المقاومة العالية الى (0.21) للخرسانة الضعيفة.
يحصل الفشل النهائي تحت تاثير اجهاد الانضغاط احادي المحور اما بسبب الفشل في الشد في بلورات الاسمنت أو التلاصق باتجاه عمودي للحمل المسلط أو بسبب الانهيار المتسبب نتيجة اسطح القص المائلة , ومن المحتمل ان يكون الانفعال النهائي محدداً للفشل ولكن مقدار الانفعال يختلف باختلاف مقاومة الخرسانة فكلما ارتفعت مقاومة الخرسانة قل الانفعال النهائي.
ان مقاومة الانضغاط تتاثر بتطور قوى تماسكية خلال الفحص بين النهايتين السطحية لنموذج الخرسانة و صفيحة التحميل الحديدية المجاورة والخاصة بماكنة الفحص٠الانضغاط العمودي يؤدي الى تمدد جانبي في كلتا المادتين، الخرسانة والحديد , بسبب تاثير نسبة بوسون ولكون معامل مرونة الحديد يكون بحدود(5_15) مرة اكبر من ذلك للخرسانة وكما ان نسبة بوسون للحديد تكون بحوالي مرتين اكبر في الخرسانة فهذا فان الانفعال الجانبي في صفيحة التحميل يكون قليلاً بالمقارنة مع التمدد العرضي في الخرسانة اذا كانت طليقة الحركة.
ويتبين من ذلك فان صفيحة التحميل في الجهاز سوف تقيد التمدد الجانبي لاجزاء الخرسانة القريبة من النهايتين المحملتين وان درجة التقيد المؤثرة تعتمد على الاحتكاك المتكون عملياً. الشكل رقم (1) والشكل رقم (2) يبين حالات الفشل النموذجية لنماذج خرسانية مكعبة واسطوانية معرضة الى قوة انضغاط.

2- مقاومة الشد: (Tensile Strength)

بصورة اعتيادية لايتوقع من الخرسانة مقاومة الشد المباشربسبب ضعف مقاومة شده النسبية وطبيعتها القصيفة ولكن معرفة مقاومة الشد تكون ذات اهمية لتقدير الحمل الذي تحصل عنده التشققات في الخرسانة.
ان مقاومة الشد تكون بمدى 7 الى 11 بالمئة من مقاومة الانضغاط وكلما ارتفعت مقاومة الانضغاط كلما انخفضت مقاومة الشد النسبية.
من النادر استعمال فحوصلت الشد المباشر لتقدبر مقاومة الخرسانة وذلك لصعوبة تثبيت النماذج وقبضها ولعدم وضوح الاجهادات الثانوية المتكونة بتاثير وسيلة قبض النموذج في الجهاز المستعمل للفحص لهذا فان فحص الشد المباشر لايستعمل ابدا لاغراض السيطرة النوعية للخرسانة وتستعمل عادة فحوصات غير مباشرة لقياس مقاومة الشد للخرسانة كفحص الانحناء وفحص الانشطار.



شكل (1): حالات فشل نموذجية في مكعبات خرسانية (أ) غير متفجر (ب) متفجر



شكل (2): حالات فشل نموذجية في اسطوانات خرسانية
(د) الانفلاق
(ب) القص
(ج) الانفلاق والقص

٣ 3- مقاومة القص: (Shear Strength)

ينتج القص عن تأثير قوتين متساويتين ومتوازيتين ومتعاكستين على مستويات سطوح متقاربة عن بعضها ٠وعملياً لايتواجد اجهاد القص لوحدة فقط بل يكون مرافقاً لاجهادات الشد والانضغاط وان القص الصرف يحصل فقط في حالة التواء نموذج أسطواني.
ان مقاومة الخرسانة أضعف في الشد منها في القص فان فشل الشد القطري يحصل في حالة الالتواء وكذلك في الاجزاء المعرضة للانحناء كذلك فان اجهاد القص يكون مصحوباً باجهادات الانحناء للشد والانضغاط والفشل في القص يكون بسبب الشد القطري الناتج.
ان استعمال اجهاد القص في حسابات التصاميم الانشائية يكون معقولا فقط بسبب كونه تقديرا مناسبا للشد القطري وان الفحوصات الممكن اجراءها لتقدير مقاومة القص تكون غير مجدية بسبب تاثيرات الانحناء او

الاحتكاك أو التقييدات الجانبية لسطح النحاس مع جهاز الفحص علما بان بعض الباحثين استنتجوا بان مقاومة القص اعلي من مقاومة الشد للخرسانة بحوالي 20%-30.

4- مقاومة الجهد أو الكلل: (Fatigue Strength)

لقد تم لحد الان بيان مقاومة الخرسانة تحت تاثير الاحمال الثابتة فقط مع ان الخرسانة في منشآت عديدة تكون معرضة الى احمال مكررة وعندما تفشل تحت هذه الاحمال المكررة والتي يكون كل منها اقل من مقاومة الانضغاط (الثابتة) يقال ان الفشل حصل بسبب الجهد.
يعبر اعتياديا عن نتائج فحوصات الجهد أو الكلل بعلاقة بيانية بين الاجهاد وعدد دورات تسليط الحمل والتي تؤدي الى الفشل.

فحوصات مقاومة الخرسانة

إن مقاومة الخرسانة تنتج عن:-

أ- مقاومة الملاط (المونة).
ب- قوة التلاصق بين الملاط والركام الخشن.
جـ مقاومة حبيبات الركام الخشن للاجهادات المسلطة.

أنوع مقاومة الخرسانة :

1- مقاومة الانضغاط.
2- مقاومة الشد, وتشمل (مقاومة الانحناء و مقاومة الانشطار).
3- مقاومة القص.
4- مقاومة الكلل.

أولا- مقاومة الانضغاط :

في الولايات المتحدة الأمريكية تستعمل نماذج اسطوانـــية بارتفاع 300 mm وبقطر 150 mm (12 انج * 6انج) لإيجاد مقاومة انضغاط الخرسانة.ان المواصفات تسمح باستعمال نماذج أصغر حجما اعتمادا على أكبر مقاس للركام المستخدم.
تصب الاسطوانات الخراسانية أما بقوالب مناسبة مصنوعة من الحديد أو حديد الزهر أو النحاس أو البلاستك ذات قواعد متحركة أو بقوالب ليعاد استعمالها أو أي مادة أخرى تفي بمتطلبات حفظ الماء والامتصاص وتغير الحجم. هذا وتغطي الأوجه الداخلية للقوالب بطبقة رقيقة من الزيت لمنع التصاق الخرسانة بهذه الأوجه.
تصب الخرسانة في القالب على شكل طبقات. ترص الخرسانة ذات الهطول العالي باستعمال ثلاث طبقات للخرسانة. تدق كل طبقة 25 ضربة من قضيب معدني بقطر 16 ملم ذي نهاية مدورة. إما بالنسبة للخلطات ذات الهطول الواطئ، فينتج الرص باستعمال طبقتين من الخرسانة وباستخدام رجاجات داخلية او خارجية. يعدل ويسوى السطح العلوي للاسطوانة باستعمال المالج ولذلك لا يكون السطح مستويا ومناسبا للفحص ولذلك يحتاج إلى تهيئة إضافية.

هناك طريقتان للحصول على سطح مستو وأملس للنماذج الاسطوانية وهي:-

1- بالحك.
2- بالاكساء.

إن الطريقة الأولى مناسبة ولكنها عالية الكلفة ،أما الاكساء فهناك ثلاثة مواد تستعمل لهذا الغرض:-

1- عجينة إسمنتية جافة.
2- ملاط الجبس عالي المقاومة.
3- خليط من الكبريت مع مادة حبيبية (مثلا حبيبات طين محروقة).

يجب إن يكون الغطاء رقيق السمك في حدود 1.5 الى 3 ملم وله مقاومة مشابهة لمقاومة الخرسانة التي ستفحص. إن المادة المفضلة للتغطية هي خليط الكبريت مع الطين المحروق حيث يمكن استعمالها لفحص خرسانة تصل مقومتها إلى 100 ميكاباسكال.
عندما يتم صب القوالب في المختبر، يجب حفظ النماذج في القالب لمدة لاتقل عن 20 ساعة ولا تزيد عن 48 ساعة تحت درجة حرارة 23±1.7 درجة مئوية لكي يمنع فقدان الماء بالتبخر. بعد نزع القالب تحفظ النماذج تحت نفس درجات الحرارة والرطوبة الازمة او في ماء مشبع باوكسيد الكالسيوم والى حين موعد فحصها.

يتم إيجاد مقاومة انضغاط الخرسانة بتسليط الحمل بسرعة ثابتة هي 0.15 الى 0.34 ميكاباسكال في الثانية (إذا كان الجهاز هيدروليكيا) وتحسب مقاومة الانضغاط للخرسانة من القانون التالي:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

حيث ان:

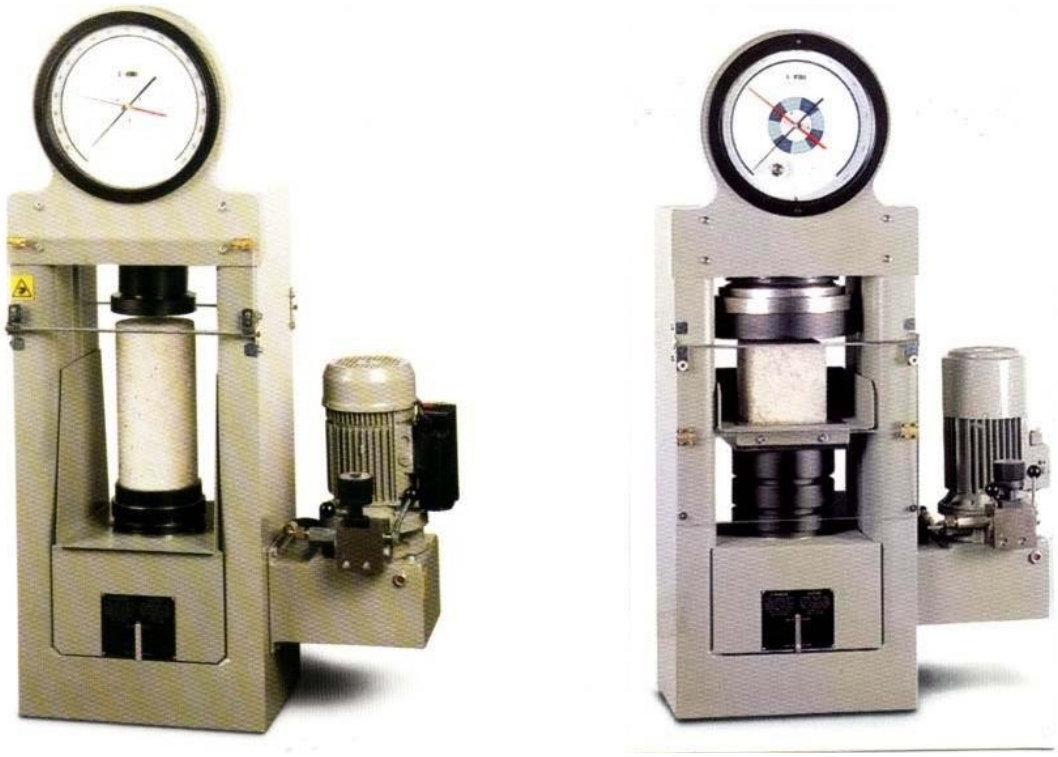
f_c = مقاومة الانضغاط للخرسانة.

p = أقصى حمل إجمالي.

A = مساحة مقطع النموذج قبل الفحص.

إن وحدات قياس مقاومة الانضغاط للخرسانة هي إما kg/cm^2 أو N/mm (ميكاباسكال).

في المملكة المتحدة: تعد نماذج الفحص بقوالب مكعبات مصنوعة من الحديد أو حديد الزهر وبطول 150 ملم. إن المواصفات تسمح باستعمال نماذج أصغر حجما اعتمادا على أكبر مقاس للركام المستخدم.
تملأ القوالب بثلاث طبقات سمك الواحدة منها 50 ملم تقريبا. وترص الخرسانة باستعمال قضيب حديدي مربع المقطع طول ضلعه 25 ملم ويكون عدد الضربات للطبقة الواحدة 35 ضربة إذا كان طول ضلع القالب 150 ملم و 25 ضربة للقالب ذي 100 ملم او يمكن استعمال الرج بدلا من القضيب المذكور.
بعد تسوية سطح المكعب بالمالج، يحفظ في درجة حرارة 20±5 درجة مئوية عندما يراد فحص المكعب بعمر 7 أيام أو أكثر.أما إذا كان العمر المطلوب للفحص يقل عن 7 أيام فان درجة الحرارة تكون 20± 2 درجة مئوية. وفي كلا الحالتين يفضل أن لا تقل الرطوبة النسبية عن 90% وان حفظ النماذج تحت مواد رطبة يعتبر مقبولا.
ينزع القالب عن المكعب بمدة قدرها 24 ساعة قبل موعد الفحص، وافحص النماذج بأعمار طويلة ينزع القالب بمدة مقدارها 16 إلى 24 ساعة من إضافة الماء إلى الخلطة. وتحفظ النماذج في حوض المعالجة تحت درجة حرارة مقدارها 20 ±2 درجة مئوية الى حين موعد الفحص.
يفحص المكعب بحث توضع أوجه المكعب الملاصقة لجدار القالب تحت لوحة جهاز الفحص أي أن المكعب يفحص وهو يوضع عمودي على وضعه أثناء عملية الصب. ويسلط الحمل بمعدل 0.2 إلى 0.4 ميكاباسكال/ثانية إلى حين فشل النموذج وتحسب مقاومة الانضغاط للخرسانة بنفس المعادلة المذكورة سابقا ضمن المواصفات الأمريكية. الشكل (1) يوضح كيفية فحص النماذج الخرسانية المكعبة والاسطوانية.



شكل (1): يوضح فحص مقاومة الانضغاط لنماذج مكعبة واسطوانية خرسانية

*** إن العمر الأكثر شيوعا لفحص مقاومة الانضغاط للخرسانة هو 28 يوم**

1- وذلك لان الخرسانة بعمر 28 يوم تحصل على % 85-80 من مقاومة الانضغاط النهائية لها.
2- لان الانكماش يكون في هذه الفترة اقل ما يمكن.

*** تكون مقاومة المكعب الخرساني 1.25 مرة بقدر مقاومة الاسطوانة لنفس الخرسانة**

1- لان تأثير التحديد التي تولده ألواح الفحص المعدنية على طبيعة الفشل في حالة النماذج المكعبة هو أكثر منه في حالة النماذج الاسطوانية.
2- لان الانفعالات الجانبية التي تحصل عند الفحص تكون كبيرة في حالة النماذج الاسطوانية مما عليه في المكعبات.

***تكون نتائج فحص الاسطوانة أقرب لحقيقة مقاومة الانضغاط للخرسانة فيما لو قورنت مع نتائج فحص المكعب وذلك للأسباب التالية:**

1- إن تأثير التحديد التي تولده ألواح الفحص المعدنية على طبيعة الفشل في حالة النماذج المكعبة هو أكثر منه في حالة النماذج الاسطوانية.
2- لان اتجاه الفحص في المكعب عمودي على اتجاه الصب أما الاسطوانة تكون موازية على اتجاه الصب.
3- إن الاجهادات توزع بشكل منتظم على جميع المقطع الدائري مقارنة بالمقطع المربع.

***إن النماذج الصغيرة تعطى مقاومة تحمل انضغاط أكثر ولنفس النوع من الخرسانة وذلك للأسباب التالية:**

1- إن الانفعالات الجانبية التي تحصل عند الفحص تكون عالية عندما تكون النماذج كبيرة الحجم.
2- احتمالية وجود ثغرات ضعيفة داخل الخرسانة في النماذج الكبيرة بشكل أكثر مما عليه في النماذج الصغيرة. (حيث أن الفشل يبدأ في أضعف نقطة داخل الخرسانة حسب نظرية العالم (Griffith).

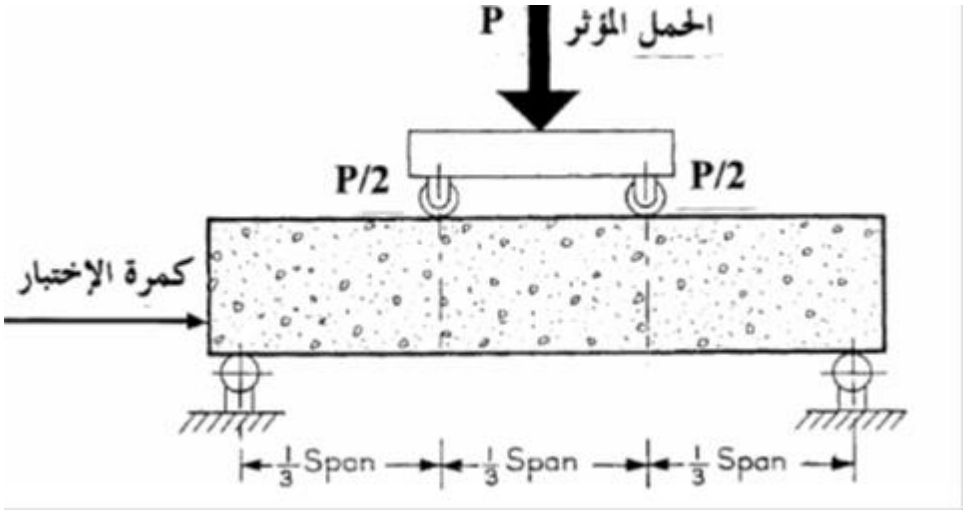
ثانيا- مقاومة الشد:

بالنظر لصعوبة إجراء فحص مقاومة الشد المحوري المباشر لنماذج خرسانية (لان نهايات النماذج يجب أن تمسك ويجب تجنب أي انحناء). لذلك يتم أيجاد مقاومة الشد الخرسانة بطرق غير مباشرة وهي فحص الانحناء وفحص الانشطار.

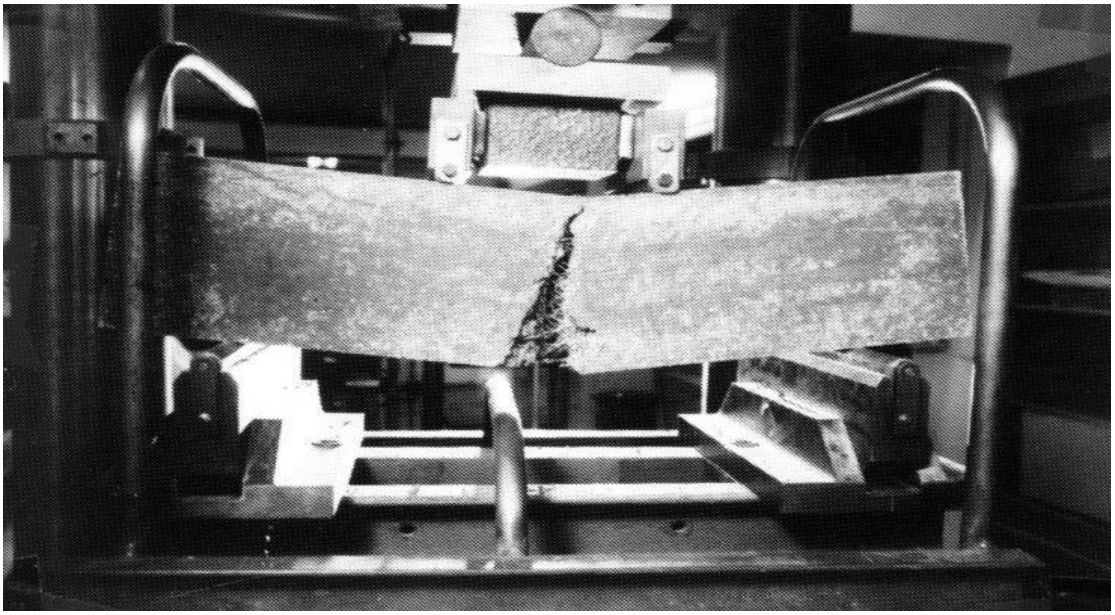
1- فحص الانحناء:

حسب المواصفات البريطانية فان الأبعاد المفضلة للرافدة هي (150*150*750ملم) (6*6*30 انج) ولكن عندما يكون أكبر مقاس للركام أصغر من 25 ملم عندئذ يمكن تغير الأبعاد إلى (100*100*500) ملم (4*4*20 انج). تملأ القوالب بطبقات سمك الواحدة منها 50 ملم تقريبا. وترص الخرسانة باستعمال قضيب حديدي ذو مقطع مربع ويكون عدد الضربات للطبقة الواحدة 175 ضربة إذا كان القالب كبير و100 ضربة إذا كان القالب صغير أو يمكن استعمال الرج بدلا من القضيب.

يفحص القالب بعد إكمال مدة المعالجة ويوضع بشكل كما هو موضح في الشكل (2) ويسلط الحمل عند الفحص ما بين 0.02 إلى 0.10 ميكاباسكال في الثانية وان السرعة الواطئة للخرسانة الواطئة المقاومة والسرعة العالية للخرسانة العالية المقاومة. بينما حسب المواصفة الأمريكية فان أبعاد الرافدة تكون (152*152*508 ملم) (6*6*20 انج). إن طريقة صنع النماذج ومعالجتها ومعدل التحميل وطريقة الفحص موضحة في المواصفات. حيث أن سرعة تحميل النموذج بين 0.0143 إلى 0.02 ميكاباسكال في الثانية.



شكل (2-A): يوضح وضعية النموذج لاجراء فحص معامل التصدع



شكل (B-2): يوضح أسلوب إجراء فحص معامل التصدع

إذا حدث الكسر في النموذج أثناء الفحص ضمن الثلث الوسطي من الرافدة عندئذ يحسب معامل التمزق (f_{bt}) أو مقاومة الانحناء من المعادلة التالية: -

$$f_{bt} = \frac{P*l}{bd^2}$$

حيث أن

p = أقصى حمل إجمالي.
I = البعد بين المسندين.
d =عمق الرافدة.
b = عرض الرافدة.

- **إن الوحدات المستخدمة لهذا الفحص هي نفس الوحدات المشار اليها في فحص مقاومة الانضغاط.**

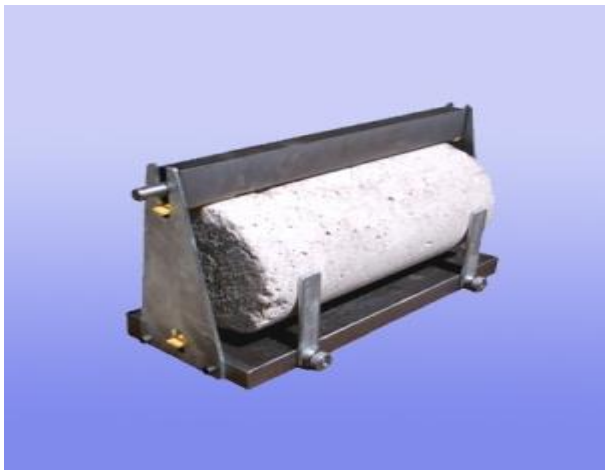
إذا حدث الكسر في موقع خارج الثلث الوسطي يجب إهمال نتائج هذا الفحص حسب المواصفات البريطانية. أما المواصفة الأمريكية تسمح لان يحدث هذا الفشل خارج نقاط التحميل وعلى مسافة قدرها (a) من أقرب مسند وعندئذ يكون معامل التصدع (مقاومة الشد بالانحناء) وفق المعادلة التالية: -

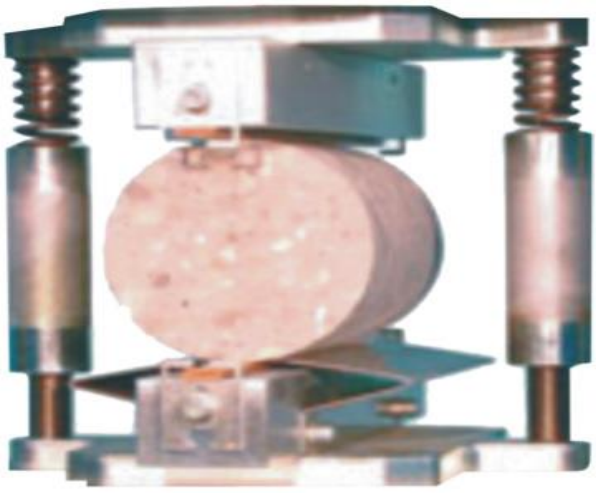
$$f_{bt} = \frac{3Pa}{bd^2}$$

هذا وإذا حدث الفشل عند المقطع بحيث (a > 0.05 l - l /3) عندئذ يجب إهمال النتائج.

2- فحص الانشطار:

تستعمل اسطوانات خرسانية وأحيانا مكعبات مشابهة لتلك التي تستعمل في فحص مقاومة الانضغاط، يوضع النموذج بحيث يكون محوره أفقيا بين لوحات جهاز الفحص وتتم زيادة الحمل حتى يحدث الفشل بالانفلاق في مستوى يحتوي القطر الشاقولي للنموذج يبن الشكل (3) نوعية المعدات المطلوبة لتثبيت النماذج في جهاز فحص الانضغاط القياسي. ومن اجل منع حدوث اجهادات انضغاطية عالية عند التحميل توضع شرائح من الخشب الصلب أو الرقائقي الصلب بين النموذج ولوحات الفحص.





D209.2

شكل (3) يوضح معدات تثبيت النماذج لفحص الانشطار

تتم زيادة التحميل بحيث يزداد إجهاد الشد بمعدل ثابت مقداره (0.02 إلى 0.04) ميكاباسكال في الثانية وفق المواصفات البريطانية و(0.011 إلى 0.023) ميكاباسكال في الثانية وفق المواصفات الأمريكية، بعد ذلك يتم حساب مقاومة شد الانشطار (f_{st}) من المعادلة التالية: -

$$f_{st} = \frac{2P}{\pi L d}$$

حيث ان:-

p = اعلي حمل.
L = طول النموذج.
d = قطر أو عرض النموذج.

***إن الوحدات المستخدمة لهذا الفحص هي نفس الوحدات المشار إليها في فحص مقاومة الانضغاط.**

مثال محلول رقم 1:

خلطة خرسانية تم خلطها في المختبر وعمل منها نماذج مكعبة بأبعاد (150*150*150 mm) ونماذج اسطوانية بأبعاد (150*300 mm) وكذلك عتبات خرسانية بأبعاد (100*100*500 mm) وبعمر 28 يوم تم فحص هذه النماذج بموجب المواصفات البريطانية، جد ما يأتي بوحدات (MPa) (N/mm^2):

1- مقاومة الانضغاط لنموذج مكعب اذا كانت قوة الفشل 160000 kg.
2 - مقاومة الشد بالانشطار لنموذج اسطواني اذا كانت قوة الفشل 5000000 N .
3- مقاومة الشد بالانثناء اذا كانت قوة الفشل 25 kN والمسافة بين المسندين 450mm والفشل حصل داخل الثلث الوسطي.
4 - مقاومة الشد بالانثناء اذا كانت قوة الفشل 2 ton والمسافة بين المسندين 450mm والفشل حصل خارج الثلث الوسطي على بعد 120 ملم من أقرب مسند.

1- مقاومة انضغاط المكعب = $\frac{P}{A} = \frac{160000 * 10}{150 * 150} = 71.111$ MPa

2- مقاومة الشد بالانشطار = $\frac{2P}{\pi L d} = \frac{2 * 5000000}{3.142 * 300 * 150} = 7.072$ MPa

3- مقاومة الشد بالانحناء = $\frac{P * l}{b * d^2} = \frac{25 * 1000 * 450}{100 * (100)^2} = 11.250$ MPa

4- تهمل النتائج = مقاومة الشد بالانحناء

مثال محلول رقم 2:

خلطة خرسانية تم خلطها في المختبر وعمل منها نماذج اسطوانية بأبعاد (150*300 mm) وكذلك عتبات خرسانية بأبعاد (150*150*500 mm) وبعمر 28 يوم تم فحص هذه النماذج بموجب المواصفات الأمريكية، جد ما يأتي بوحدات (N/mm^2) (MPa):

1- مقاومة الانضغاط لنموذج اسطواني اذا كانت قوة الفشل 180 Ton.
2 - مقاومة الشد بالانشطار لنموذج اسطواني اذا كانت قوة الفشل 800 kN.
3 - مقاومة الشد بالانثناء اذا كانت قوة الفشل 12000 kg والمسافة بين المسندين 450mm والفشل حصل خارج الثلث الوسطي على بعد 130 ملم من أقرب مسند.

الجواب:

$$\text{1- مقاومة انضغاط الأسطوانة} = \frac{P}{A} = \frac{180 * 1000*10}{(150/2)^2 * 3.142} = 101.845\ MPa$$

$$\text{2- مقاومة الشد بالانشطار} = \frac{2P}{\pi L d} = \frac{2 * 800*1000}{3.142 * 300 *150} = 11.316\ MPa$$

3- مقاومة الشد بالانحناء

$$450/3 - 130 > 0.05 * 450$$

$$150 - 130 > 0.05 * 450$$

$$20 > 22.5$$

اذن تحقق شرط تطبيق المعادلة الثانية

$$\text{مقاومة الشد بالانحناء} = \frac{3 * P * a}{b * d^2} = \frac{3 * 12000 * 10 * 130}{150 * (150)^2} = 13.866\ MPa$$

المواد المضافة ADMIXTURES

مقدمة:

المواد المضافة هي المواد غير الماء والمجاميع والاسمنت المستعملة في إنتاج الخرسانة والتي تضاف قبل أو بعد عملية الخلط.
تستعمل المواد المضافة عادة لتحسين خواص الخرسانة اجعلها ملائمة للعمل فاستعمال المواد المضافة المناسبة يضفي على الخرسانة خواص مقبولة والتي لئيمكن الحصول عليها بطرق أخرى وبنفس الكلفة.و حالات أخرى بالإمكان الوصول الى الأهداف المحددة اقتصادياً بتغيير المكونات أو نسب الخلطة الخرسانية دون استعمال المواد المضافة.فالمواد المضافة هي ليست كتعويض للاعمال الخرسانية الصحيحة لذا يجب استعمالها بعد تقييم التاثيرات عند استعمال خرسانة بخلطة و ظروف معينة.هذا يجب ان تكون المواد المضافة مطابقة للمواصفات الخاصة المستعملة بالاضافة الى ملاحضة التعليمات التي يقدمها المنتج لهذه المواد.

تصنيف المضافات:

تصنف المضافات عادة تبعاً للغرض الرئيسي من استعمالها وان العديد من هذه المضافات تؤثر في أكثر من خاصية للخرسانة. واحياناً تؤثر في خواص مرغوبة للخرسانة بصورة معكوسة أي قد تحسن خاصية معينة وفي نفس الوقت يكون تأثيرها سلبياًعلى خاصية أخرى. ان التأثيرات النوعية للمضاف تعتمد على عدد من المتغيرات كنوع المضاف وكميته وتركيبه الكيمياوي أو محتوى الاسمنت في الخليط ونوعه وتركيبه الكيمياوي ومحتوى الجبس فيه أو وقت اضافة المضاف الى الخليط ومدة الخلط وغيرها من المتغيرات.
تتوفر حالياً اعداد كبيرة من المضافات تستعمل لاغراض مختلفة ويواجه من يرغب في استعمالها خيارا صعبا عند تحديد المضاف الملائم. حيث ان عمل المضاق وتاثيراته توصف عادة من قبل المصنع والجهز ولكن يجب تدقيق تفاصيل سلوكه في الخليط قبل استعمالها في الاعمال الخرسانية وذلك بعمل خلطات تجريبية أو اجراء فحوص مختبرية بموجب المواصفات العالمية المتبعة.والجدول رقم (1) يوضح تصنيف.

الغاية الاساسية فى استعمال المواد المضافة:المضافات

ان الغاية الاساسية من استعمال المواد المضافة هي:

1- تحسين قابلية التشغيل
2- الاسراع في تنمية قوة التحمل الانضغاطية في الايام الاولى من عمر الخرسانة
3- زيادة القوة
4- اسراع أو ابطاء التماسك الاولى
5- ابطاء أو اقلال حرارة التميؤ
6- تحديد سرعة وقابلية النزف
7- الزيادة في المتانة أو المقاومة الظروف الخاصة كاستعمال الاملاح المذيبة للثلوج
8- السيطرة على تفاعل المجاميع القلوية والجاميع التي تحتوي نسبة عالية من الاملاح(الكبريتات)
9- تقليل سريان الماء بالخاصية الشعرية
10- تقليل نفاذية السوائل في الخرسانة
11- إنتاج الخرسانة المسامية
12- تحسين ضخ ونفاذ الحقين والاقلال من الانفصال
13- منع النزول أو ظهور التمدد في الخرسانة أو المونة المستعملة في ملئ الثغرات
14- زيادة الارتباط في الخرسانة مع فولاذ التسليح
15- زيادة الربط بين الخرسانة القديمة والحديثة.

16- إنتاج خرسانة أو مونة ملونة.
17- إنتاج خرسانة بخواص مختلفة لمنع الفطريات والجراثيم والحشرات.
18- منع الصدأ.

جدول (1) يوضح تصنيف المضافات

المعجلة	المعجلة/المقللة للماء
المبطئة	المبطئة/المقللة للماء
المقللة للماء/الملدنة	
المقللة للماء بدرجة متفوقة (الملدنات المتفوقة)	
الهواء المقصود	
المقللة لنفوذ الماء	المقللة للنفاذية (المقاومة للضغط)
	الصادة الماء
المضافات المعدنية التجزئة	إسمنتية
	بوزولانية
	خاملة
متنوعة	الغير القابلة للهطول
	المساعدة على ضخ الخرسانة
	المكونة للغاز
	للحقن بالاسمنت
	الرابطة
	الملونة
	المسببة للاندماج
	المسببة للتمدد
	المبيدة للفطريات والجراثيم والحشرات
	الكيميائية المقللة للتمدد الناتج عن التفاعل القلوي
	المانعة للصدأ

المواد المضافة المعجلة :(Accelerators)

تعمل هذه المواد على تقليل زمن تماسك الخرسانة وتزيد من سرعة اكتسابها للمقاومة في الاعمار المبكرة ومن أهم هذه المواد: -

1- كلوريد الكالسيوم.
2- كلوريد الصوديوم والالمنيوم.
3- فورمات الكالسيوم.
4- كاربونات الصوديوم والبوتاسيوم.

ان اكثر المواد استعمالاً في التعجيل في التفاعل هي كلوريد الكالسيوم لكونه اكثر المواد توفراً وأقلها كلفة ويحصل عليه بشكل سائل أو صلب ولاسباب مختلفة يستوجب استعماله بشكل سائل وبنسبة تتراوح بين (1- 2) % من وزن السمنت فتاثير استعمال كلوريد الكالسيوم على تعجيل القوى الانضغاطية للخرسانة في الاوقات المبكرة من الضروري بيان كميات كلوريد الكالسيوم للتجنب من سوء استعماله حيث يؤدي الى صدأ الفولاذ التسليح في بعض الاحيان وللتغلب على خطر الصدأ في حديد التسليح يستوجب استعمال خرسانة ذات خواص عالية أي ذات نفاذية وطئة والتاكد من عدم وصول نسبة كلوريد الكالسيوم الى اكثر من (1.5%) من وزن الاسمنت تتوفر حالياً مواد خالية من الكلور مثل فورمات الكالسيوم. ويفضل استخدام كلوريد الكالسيوم بشكل محلول ولايجوز استعمال كلوريد الكالسيوم في حالات تعرض الخرسانة للاملاح الكبريتية او في حالات المعالجة بدرجات حرارة عالية. وعند اضافة كلوريد الكالسيوم يجب معرفة كمية الكلوريدات الموجودة في الركام الخشن.

تأثيرات اضافة كلوريد الكالسيوم: -

1- يعمل على ابقاء المزيج حار بزيادة انتاجه للحرارة بالتفاعل الكيمياوي.
2- يزيد قابلية الخرسانة لمقاومة الانجماد بزيادة معدل اكتساب المقاومة.
3- عند اضافة كلوريد الكالسيوم يقل وقت التماسك وكما يلي: -

نسبة كلوريد الكالسيوم (%)	الوقت الذي يقلله (دقيقة)
0.1	15
0.3	25
0.5	45
1.0	85

تعتمد نسبة كلوريد الكالسيوم المضافة على درجة حرارة الجو المحيط بالخرسانة اذ يتناسب عكسياً مع درجة الحرارة كما موضح في الجدول التالي: -

درجة الحرارة م^0	20 واقل	20- 33	33 فأكثر
نسبة كلوريد الكالسيوم %	2	1.5	1

وفي المناطق المنجمدة قد تصل النسبة المضافة الى % 4 .

وتستعمل المواد المعجلة في: -

1- في الاعمال الخرسانية في المناخ البارد لانها تعمل على خفض الوقت اللازم للحصول على قوة كافية وذلك لمقاومة الانجماد (قوة انجماد الماء في الخرسانة).
2- تستعمل للقيام بأعمال التصليح السريعة مثل الارصفة والشوارع المزدحمة و المهمة.
3- تستعمل لأقلال الوقت اللازم لرفع القوالب.
4- تستعمل لتقليل فترة معالجة الخرسانة.

مثال :

احسب كمية كلوريد الكالسيوم وبوحدة kg/sag (كغم/كيس) إذا كانت النسبة المئوية المقررة 2% من وزن السمنت علما بان كمية الكلوريدات في الركام الخشن هي 0.08 %من وزن الركام الخشن وان نسبة الخلط الوزنية هي (4 :2 :1).

$$\text{كمية كلوريد الكالسيوم} = \frac{2}{100} * 50 = 1 \text{ kg/sag}$$

$$\text{كمية الكلوريدات في الركام} = \frac{0.08}{100} * 200 = 0.16 \text{ kg/sag}$$

$$\text{كمية كلوريد الكالسيوم} = 1 - 0.16 = 0.84 \text{ kg/sag}$$

المواد المضافة المؤخرة للتفاعل (Retarders):

تعمل هذه المواد على زيادة زمن تماسك الخرسانة وتصلبها وهناك العديد من المواد الاضافية المؤخرة لعملية التماسك والتصلب ومن أهم هذه المواد: -

1- أملاح الزنك (الخارصين).
2- البلورات.
3- الفوسفات.
4- حوامض الهيدروكسيل.
5- الجبس.
6- السكريات والنشا.

استخدامات المواد المبطئة: -

1- تستعمل عند الصب في الاجواء الحارة.
2- تستعمل عند نقل الخرسانة الى مسافات طويلة.
3- تستعمل عند ضخ الخرسانة الى ارتفاعات اومسافات طويلة.
4- في حالات الاملاء والرص البطيْ للمنشاءات المسلحة المعقدة والمساحات الكبيرة.
5- تستعمل في صب الخرسانة الكتلية.

الجبس: -

من اكثر المواد المبطئة انتشاراْ هي الجبس ورمزه الكيمياوي ($CaSO_4.2H_2O$) ويطحن الجبس مع الكلنكر في الخطوات الاخيرة من صناعة السمنت لمنع التماسك الفجائي للسمنت وتعتمد نسبة الجبس المضاف على نسبة الومينات الكالسيوم الثلاثية. تحسب نسبة الجبس الواجب اضافتها الى السمنت على هيئة النسبة المئوية لثالث اوكسيد الكبريت وتوصي المواصفات بأن تكون هذه النسبة 2.5 % عندما تكون نسبة الومينات الكالسيوم الثلاثية 7%.

السكر: -

يمكن استخدام السكر كمادة مؤخرة حيث يضاف بنسب أقل من (0.2 %) ويؤدي الى تأخير زمن التماسك بمقدار (1 - 4) ساعات وعند اضافته بنسبة 0.5% من وزن السمنت يؤدي الى انعدام المقاومة في اليوم الاول من صب الخرسانة ونقص المقاومة الى 50% من قيمتها بعد 3 أيام من الصب. ويمكن للسكر ان يعطل تماسك السمنت عندما يضاف بنسبة (1 %) حيث يمكن استخدامه في حالات عطل الخلاطة او السيارات الناقلة للخرسانة لمنع تصلب الخرسانة فيها. وبصورة عامة تستخدم المبطئة الاخرى عادة بنسب تتراوح مابين (0.05 – 0.5) % من وزن السمنت .

المواد المضافة الباعثة للفراغات: (Air-Entraining Admixtuers)

تقوم المواد المضافة هذه بزيادة مقدار الهواء الموجود في الخرسانة وبشكل فقاعات (حوالي مليمتر واحد في قطرها أو أصغر) وبذلك تحسن من قابلية التشغيل للخرسانة الطرية ومقاومة الانجماد في الخرسانة المتصلبة وبذلك تقل كثافة الخرسانة المتصلبة وتقل قوة التحمل (مقاومة الانضغاط) الا إذا اخفضت كمية الماء للتعويض عن الخسارة في قوة الانضغاطية والزيادة في قابلية التشغيل بسبب الفقاعات الهوائية هذه وتستعمل هذه المضافات في:

1- منع تكسر وتشقق الخرسانة عند البدأ بتصلبها حيث ان كبر حجم الماء بسبب الانجماد سوف يضيع في الفراغات التي نتجت بفعل المادة المضافة.
2- الحصول على متانة للخرسانة المتصلبة المعرضة للانجماد والذوبان اذ ان الزيادة في حجم الماء داخل الخرسانة عند الانجماد سوف تضيع الفراغات.
3 - زيادة في قابلية الشغيل ويعتبر هذا بمثابة زيادة الرمل.

المواد المضافة المقللة الماء: (Water_Reducing Admixtures)

هذه الموادالمضافة على نوعين الاول يسمى المضافات المقللة الماء الاعتيادية وهي تقلل الماء لحد نسبة (12%) والنوع الثاني يسمى المضافات المقللة للماء بدرجة متفوقة وهي تقلل الماء بشكل أكبر أو أكثر من (12%) وتصل احياناً الى (30%)، ومن أهم هذه المواد: -

1- اللكنوسلفونات.
2- حوامض الكاربوكسيل الهيدروكسيل.

الغاية من استعمال هذه المضافات:

1- تقليل المحتوى المائي للملاط أو الخرسانة بدرجة كبيرة وفي الوقت نفسه المحافظة على قوام معين دون التسبب في تاثيرات غير مرغوب بها في زمن التجمد.
2- زيادة الهطول (قابلية التشغيل) بدرجة كبيرة دون الحاجة الى زيادة محتوى الماء نسبة الى الخلطات المرجعية.
3- توافق في الاداء بين الغرضين أعلاه وذلك بالحصول على زيادة معتدلة في الهطول مع نقصان معتدلة في محتوى الماء.
4- تقليل محتوى الاسمنت في الخليط بزيادة نسبة الركام/الاسمنت لاغراض اقتصادية مع الحفاظ على مستوى قابلية التشغيل ومقاومة الانضغاط.

استعمالات بخار السليكا: (Silica Fume)

يعتبر بخار السليكا من المواد البوزولانية.والمواد البوزولانية هي مواد سليكية او سليكية والومنية لاتمتلك لوحدها صفات رابطة ولكن عندما تطحن ناعماً وبوجود هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ في درجات الحرارة الاعتيادية لتكوين مركبات ذات خواص اسمنتية يشار احيانا الى بخار السليكا بالمايكروسليكا أو بخار السليكا المكثف ولكن التسمية الشائعة هي بخار السليكا.

ينتج بخار السليكا أثناء صناعة السليكون وسبائك السليكون الحديدية من الكوارتز النقي والفحم في فرن القوس الكهربائي. تستعمل بخار السليكا في إنتاج الخرسانة والمونة وعجينة الاسمنت وتستعمل كتعويض عن جزء من وزن الاسمنت المستعمل ان الوزن النوعي لبخار السليكا هو(2.2) وهذا اقل من الوزن النوعي للاسمنت البورتلاندي (3.15).

استعمالات بخار السليكا:

1- تستعمل كتعويض عن جزء من وزن الاسمنت عند انتاج الخرسانة او المونة.
2- تستعمل في انتاج خرسانة ذات المقاومة المبكرة السريعة وكذلك ذات مقاومة عالية.
3- تستعمل لزيادة التماسك و التلاصق بين عجينة الاسمنت والركام.
4- تستعمل في انتاج خرسانة او مونة ذات مسامية قليلة.
5- يستعمل لتقليل ظاهرة النضح في الخرسانة.
7- تعمل هذه المادة بخار السليكا على تقليل قابلية التشغيل للخرسانة لان مساحتها السطحية عالية لذلك يجب زيادة كمية ماء الخلط للمحافظة على قابلية التشغيل ومن الفضل استخدام الملدنات المتفوقة لتحقيق الغرضين اعلاه.
8- الخرسانة الحاوية على بخار السليكا ذات مقاومة جيدة للكبريتات وذلك لان الخرسانة ذات نفاذية قليلة وحاوية على كمية قليلة من هيدروكسيد الكالسيوم.
9- يزيد من مقاومة الخرسانة الى الانجماد والذوبان وكذلك يزيد من مقاومة الخرسانة لقوى الاحتكاك وكذلك يزيد من مقاومة الانضغاط والقص والشد.

الرماد المتطاير:
ينتج الرماد المتطاير خلال عملية حرق الفحم الوقود وقد اصبحت محطات الطاقة هي المصدر الرئيسي للامداد به وهو يحتوي على كمية من الفحم غير المحترق والنسبة التي يجب ان يوجد بها عند استخدامه كمادة مضافة للخرسانة هي 8 % من وزن السمنت ويعمل على تأخير عملية التماسك وعند استبدال 20 % من السمنت بالرماد المتطاير يتم الحصول على نتائج جيدة.

مركبات الرماد المتطاير: -

العنصر	الرمز	النسبة المئوية
ثاني اوكسيد السليكون	SiO_2	60 -- 30
اوكسيد الالمنيوم	Al_2O_3	30 -- 15
كاربون غير محترق	-------	30 -- 0
اوكسيد الكالسيوم	CaO	7 -- 1
اوكسيد المغنيسيوم	MgO	كميات قليلة
ثاني اوكسيد القصدير	So_3	كميات قليلة

فوائد استعمال الرماد المتطاير: -
1- تقليل الفطور الحرارية.
2- زيادة التحملية وزيادة المقاومة للقلويات.
3- تقليل النفاذية.
4- يعطي خواص ميكانيكية افضل.
5- يزيد من مقاومة الانجماد والذوبان.
6- يقلل ظاهرة النضح في الخرسانة.

المواد المضافة المانعة للرطوبة: -
يعمل هذا النوع على غلق المسامات الشعرية للخرسانة مما يمنع حركة الرطوبة في داخلها نتيجة الخاصية الشعرية ومن أهم هذه المواد: -

1- مواد مالئة مثل سليكات الصوديوم والمساحيق الناعمة مثل التالك.
2- مواد منفرة للماء مثل صابونات الصوديوم والبوتاسيوم والزيوت النباتية.

*** وهي تضاف بنسبة تتراوح بين 0.1 – 0.2 % من وزن السمنت.**

استخدامات المواد المانعة للرطوبة: -

1- تستعمل في صب البادلو والارضيات تحت الكاشي.
2- تستعمل عند لبخ جدران السراديب وخزانات الماء والمسابح.
3- تستعمل عند لبخ الجدران في مناطق المزاريب والمناطق المعرضة للامطار.

مضافات تحسين التشغيلية: -

هناك مجموعة من المواد التي تضاف لتحسين التشغيلية منها الجير المطفئ والبنتونيت والرماد المتطاير الذي يستعمل عندما تكون نسبة الركام الناعم قليل وإذا استعمل بكثرة فأنه يحتاج الى ماء ويتسبب في نقصان المقاومة ويمكن استعمال كلوريد الكالسيوم والمواد المسببة في الهواء المحبوس مثل الراتنج الطبيعي او صابون السلفونيك حيث انها تزيد التشغيلية.

مثال رقم (1) محلول عن المضافات الخرسانية

احسب كمية المواد لخلطة خرسانية وبوحدة kg/m^3 (كغم/$م^3$) اذا كانت النسبة المئوية المستعملة للملدن الفائق 2% من وزن السمنت مسببا تقليل المحتوى المائي للخلطة بنسبة 20%, ونسبة غبار السيليكا المستعملة 12% من وزن الاسمنت (نسبة تعويضية) وان نسبة الخلط هي (3 : 1.5 : 1), ونسبة الماء / الاسمنت (w/c) مساوية الى 0.4, كمية الاسمنت المستعملة $500\ kg/m^3$ (كغم/$م^3$).

الجواب :

وزن الاسمنت =C = 500 kg/m^3

وزن المـــــاء = 0.4 * C = 0.4* 500 = 200 kg/m^3

الركام النــاعم = 1.5 * C = 1.5 * 500 = 750 kg/m^3

الركام الخشن = 3 * C = 3 * 500 = 1500 kg/m^3

وزن غبار السيليكا = 12/100 * C = 0.12 * 500 = 60 kg/m^3

وزن الاسمنت الجديد = 500 – 60 = 440 kg/m^3

وزن الملدن = 2/100 * 440 = 8.8 kg/m^3

وزن الماء المقلل = 20/100 * 200 = 40 kg/m^3

وزن الماء الجديد = 200 – [20/100 * 200] = 160 kg/m^3

وزن الماء الجديد = 200 – 40 = 160 kg/m^3

مثال رقم (2) محلول عن المضافات الخرسانية

احسب كمية المواد لخلطة خرسانية وبوحدة kg/m^3 (كغم/$م^3$) اذا كانت النسبة المئوية المستعملة للملدن الفائق 2% من وزن السمنت مسببا تقليل المحتوى المائي للخلطة بنسبة 20%, ونسبة غبار السيليكا المستعملة 12% من وزن الاسمنت (نسبة اضافية) وان نسبة الخلط هي (3 : 1.5 : 1), ونسبة الماء / الاسمنت (w/c) مساوية الى 0.4, كمية الاسمنت المستعملة $500\ kg/m^3$ (كغم/$م^3$).

الجواب:

وزن الاسمنت = C = $500\ kg/m^3$

وزن المـــــاء = 0.4 * C = 0.4* 500 = $200\ kg/m^3$

الركام النــاعم = 1.5 * C = 1.5 * 500 = $750\ kg/m^3$

الركام الخشن = 3 * C = 3 * 500 = $1500\ kg/m^3$

وزن غبار السيليكا = 12/100 * C = 0.12 * 500 = $60\ kg/m^3$

وزن المواد الاسمنتية = وزن الاسمنت + وزن غبار السيليكا

وزن المواد الاسمنتية = 500 + 60 = $560\ kg/m^3$

وزن الملدن = 2/100 * 500 = $10.0\ kg/m^3$

وزن الماء المقلل = 20/100 * 200 = $40\ kg/m^3$

وزن الماء الجديد = 200 – [20/100 * 200] = $160\ kg/m^3$

وزن الماء الجديد = 200 – 40 = $160\ kg/m^3$

الاعمال الخرسانية في الجو الحار

مشاكل العمل بالخرسانة في الجو الحار:

1- ان درجة حرارة الخرسانة الطرية الاعلى من الطبيعية تسبب اماهه أسرع للاسمنت ولذلك تؤدي الى تجمد معجل والى مقاومة مستقبلية أوطا بالنسبة للخرسانة الممتصلبة لان الجل المتكون يكون اقل انتظاما.
2- اذا رافق درجة الحرارة العالية انخفاض في رطوبة الهواء النسبية فسيحدث تبخر سريع لبعض ماء الخلط مسببا نقصانا اعلى في قابلية التشغيل وانكماشا لدنا اعلى وتجزعا.
3- ان درجة حرارة الخرسانة الطرية العالية تكون مضرة ايضا عند وضع حجوم كبيرة من الخرسانة وذلك لوجود تفاوت كبير في درجة الحرارة بين اجزاء الكتلة بسبب الانبعاث السريع الحرارة اماهة الاسمنت والتبريد اللاحق الشيء الذي يولد اجهادات شد قد تسبب تشققات حرارية.
4- ان ادخال الهواء المقصود يكون اكثر صعوبة في درجات الحرارة الاعلى بالرغم من امكانية معالجة ذلك ببساطة باستخدام كميات البر من عامل ادخال الهواء.
5- اذا سمح للخرسانة الباردة بالتمدد نسبيا عند وضعها في درجة حرارة هواء اعلى فان الفجوات الهوائية تتمدد وان مقاومة الخرسانة تقل, ومن الممكن حدوث ذلك على سبيل المثال في الالواح الافقية وليس في العمودية ومنها الموضوعة في القوالب الحديدية التي تمنع التمدد.
6- ان المعالجة بدرجات حرارة عالية في الهواء الجاف تظهر مشاكل اضافية بسبب ميل ماء المعالجة للتبخر بسرعة مع ابطاء في الاماهه ونتيجة لذلك تتطور المقاومة بشكل غير كفوء ويحدث انكماش جفاف وهذا الاخير قد يولد اجهادات شد تكون بمقادير كافية لتسبب تشقق الخرسانة المتصلبة وينتج من ذلك ان منع التبخر من سطح الخرسانة يكون ضروريا وان طرق تحقيق ذلك يتم بالمعالجة المناسبة.

من الاجراءات الواجب اتخاذها عند العمل في الخرسانة في الاجواء الحارة لغرض التقليل او منع حصول هذه التأثيرات الضارة على خواص الخرسانة هي:

1- يجب ان تبقى درجة حرارة الخرسانة المصنوعة في موقع العمل او الجاهزة في حدود ويفضل ان لا تتجاوز 16^{0} م وكحد أعلى 32^{0} م .
2- يمكن استخدام الجليد بصفته جزءا من ماء الخلط.
3- تضليل الاسمنت واكوام الركام من اشعة الشمس المباشرة.
4- رش اكوام الركام بالماء, وهذا بدوره سوف يغير من المحتوى المائي للركام.
5- دفن انابيب الماء.
6- رش القوالب بالماء قبل صب الخرسانة.
7- تنفيذ الاعمال الخرسانية في المساء او الصباح.
8- اختيار نسب خلط مناسبة واستعمال كمية الاسمنت اقل ما يمكن.
9- يجب اختيار النوع والتدرج المناسب للركام.
10- استعمال الاسمنت المنخفض الحرارة, الاسمنت المعدل والاسمنت البوزلاني.
11- استعمال المضافات المبطئة.
12- حماية الخرسانة من الشمس المباشرة.
13- ترطيب الخرسانة والسماح بحدوث التبخر.
14- استخدام غطاء او غشاء بلاستيكي لونه ابيض لتغطية الخرسانة, وخصوصا في المساحات الخرسانية الكبيرة المعرضة للشمس مثل الطرق ومدارج المطارات والساحات.

الاعمال الخرسانية في الجو البارد

مشاكل العمل بالخرسانة في الجو البارد:

1- اذا سمحنا للخرسانة التي لم تتصلب بعد بالانجماد فان ماء الخلط يتحول الى جليد وستحدث زيادة في الحجم الكلي للخرسانة. ولانه لايتوفر هناك الان ماء للتفاعلات الكيمياوية فان تصلب الخرسانة يتاخر وبالنتيجة ستكون هناك قليلة من عجينة الاسمنت التي يمكن ان تتلف بتكوين الجليد.
2- عندما يحدث الذوبان فان الخرسانة سوف تتصلب وهي في حالتها المتمددة لذلك فانها سوف تحتوي على حجم كبير من المسامات وبالنتيجة فان مقاومتها تصبح واطئة.
3- اذا حصل الانجماد بعد ان تتصلب الخرسانة ولكن قبل ان تكتسب مقاومة ملموسة, فان التمدد المتعلق بتكوين الجليد يسبب تصدعا وفقدانا في المقاومة غير قابل للاصلاح, ولكن اذا كانت الخرسانة حاصلة على مقاومة كافية قبل الانجماد فانها تتمكن من مقاومة الضغط الداخلي المتولد من تكون الجليد من ماء الخلط المتبقي.
4- اضافة الى حماية الخرسانة من تلف الصقيع في الاعمار المبكرة فانها يجب ان تكون قادرة على مقاومة أي دورات اجماد وذوبان متوقعة لاحقا خلال عمر الخرسانة.

من الاجراءات الواجب اتخاذها عند العمل في الخرسانة في الاجواء الباردة لغرض التقليل او منع حصول هذه التأثيرات الضارة على خواص الخرسانة هي:

بصورة عامة، اذا منع انخفاض درجة حرارة الخرسانة الجيدة الى اقل من 3-4^0 م فوق درجة الانجماد لمدة 3-4 أيام فانها ستقاوم الانجماد وسيستمر تصلبها ولو بمعدل اقل من التصلب الاعتيادي ولكن عندما تكون درجة حرارة الهواء خلال صب الخرسانة اقل من 2^0 م فوق الانجماد من الضروري اتخاذ الاحتياطات التالية لضمان الحصول على خرسانة مرضية:

1- تسخين المواد لغرض اعطاء الخرسانة درجة حرارة ابتدائية قدرها 30^0 م تقريبا واكثر بقليل عند استعمال الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي وأقل بقليل عند استعمال الاسمنت البورتلاندي السريع التصلب, والتسخين كما يلي:
   * يمكن تسخين الماء بسهولة ولكن لاينصح برفع درجة حرارته الى 60-80^0 م وذلك خوفا من حصول التجمد الفجائي للاسمنت.
   * منع تماس الاسمنت مع الماء الساخن لذلك يلزم ترتيب تغذية المواد في الخلاطة بطريقة مناسبة.
   * يمكن تسخين الركام ايضا ويفضل عمل ذلك بامرار بخار خلال ملفات بدل من استخدام البخار الحي من المراجل لان الطريقة الاخيرة تعمل على تغير المحتوى المائي للركام.
   * لايفضل تسخين الركام أكثر من 52^0 م.
2- يجب السيطرة على درجة حرارة الخرسانة للتاكد من ان عملية تجمدها لاتحصل في درجات الحرارة العالية لان ذلك يؤثر على تطور مقاومتها. والحرارة العالية تسبب نقصان في قابلية تشغيل الخرسانة وكذلك يؤدي الى زيادة الانكماش الحراري.
3- استعمال الاسمنت الورتلاندي السريع التصلب والذي يكون سرعة توليده للحرارة عاليا وبذلك يمكن السيطرة على درجة حرارة الخرسانة في المراحل المبكرة بعد عملية الصب.
4- تقليل كمية الاسمنت المستخدم وبما تسمح به المواصفات, لغرض تقليل من حرارة الاماهة.
5- عزل الخرسانة من الجو المحيط بها لغرض السيطرة على درجة الحرارة بعد عملية الصب وذلك بانشاء احاطات حولها وتجهيز مصدر حراري ضمن الاحاطات, بشرط ان لاتسبب الحرارة جفافا سريعا للخرسانة وان يكون التسخين متجانس.

6- استعمال السوائل المقاومة للتجمد يكون مسموحا فقط في الخرسانة الغير المسلحة. وأكثر هذه الانواع استعمالا هو كلوريد الكالسيوم حيث يستعمل 1 كغم منه لكل كيس من الاسمنت 50 كغم لغرض تعجيل عملية اماهة الاسمنت وتقليل درجة انجماد ماء الخلط بمقدار 1 الى 2 ^{0} م.
7- يمكن استعمال كاربونات البوتاسيوم (K_2CO_3) في الخرسانة لغرض خفض نقطة اجماد ماء الخلط وبذلك يمكن للخرسانة من تطوير بعض المقاومة.
8- استعمال المضافات المعجلة لغرض الزيادة من سرعة الاماهه وزيادة من معدل سرعة انبعاث حرارة الاماهه.

طرق قياس درجة حرارة الخرسانة الطرية:

1- عن طريق استعمال المسعر الحراري.
2- عن طريق تطبيق المعادلات الرياضية.

ضخ الخرسانة الطرية (Concrete Pumping)

و في هذه الأيام تنقل كميات كبيرة من الخرسانة باسطة مضخات خاصة خلال أنابيب ولمسافات غير قصيرة إلى محلات يصعب إيصال الخرسانة إليها بالطرق الأخرى وتتكون المنظومة يشكل رئيسي من:-

1- صندوق قمعي الشكل يتسلم الخرسانة من ألخلاطة.
2- مضخة الخرسانة.
3- مجموعة أنابيب تنقل الخرسانة بواسطتها.

هناك نوعان من المضخات التي تستعمل لضخ الخرسانة هي:

1- مضخات كابسة (ذات الفعل المباشر).
2- مضخات عاصرة.

هناك العديد من المضخات من ذوات الفعل المباشر (مكبس مباشر) مع صمامات شبة دورا نية تسمح لمرور الجسيمات الكبيرة من الركام الخشن.

تغذى المضخة بالخرسانة بالإسقاط المباشر تحت تأثيرا لوزن بالإضافة إلى عملية الامتصاص الناتجة من حركة المكبس في الوقت الذي تفتح وتغلق الصمامات تلقائياً بحيث تنساب الخرسانة على شكل دفعات ولكن الأنابيب تبقى دائماً مملوءة بالخرسانة وان استعمال المكبسين يؤدي إلى انسيابية منتظمة أفضل ويمكن الحصول على إنتاجية تصل (60 م^3) من الخرسانة بالساعة الواحدة باستعمال أنابيب بقطر (200) ملم وهناك أيضا مضخات صغيرة متنقلة من النوع الذي يعمل بأسلوب الكبس (العصر) تدعى المضخات العاصرة (Squeeze Pumps) .
تدفع الخرسانة الموجودة في قمع الجمع بواسطة نصول دوارة إلى أنبوب مرن مربوط إلى حجرة الضخ والتي تحت الهواء (Vacuume) مقداره (600) ملم من الزئبقي. إن هذا الهواء يضمن إن الأنبوب المرن يبقى دائري (ماعدا في الحال التي يعصر فيها) مما يديم الجريان المستمر للخرسانة هناك عجلتان دوارتان تعصر الأنبوب المرن تدريجياً وبذلك تدفع الخرسانة إلى الأنبوب التجهيز.
وتركب المضخة العاصرة على شاحنة وتصل إنتاجية مثل هذه المضخات إلى (20) متر مكعباً بالساعة الواحدة باستعمال أنابيب ذات قطر (75) ملم أو يمكن للمضخات العاصرة إن تنقل الخرسانة مسافة أفقية تصل إلى (90 متر أو (30) مترا عمودي بينما استعمال المضخات الكابسة يمكن إن تنقل الخرسانة إلى مسافة (450) متر أفقيا أو(40) متراً عمودياً هذا وان نسبة المسافة الأفقية إلى ارتفاع تعتمد على قوام الخرسانة وعلى سرعة جريانها في الأنابيب فأن زيادة السرعة تقلل هذه النسبة.

هناك نوعان أساسيان من مضخات الخرسانة :
1- مضخات متحركة
2- مضخات ثابتة

المضخات المتحركة :
تتنوع المضخات المتحركة على حسب نوعها و على حسب طول ذراعها و على حسب طريقة فرد ذراعها أشهر أنواع المضخات من هذا النوع : مضخات البوتز ماستر PUTZMEISTER و الشيفنج Schwing والسيفا Cifa ويختلف طول ذراع المضخات عن بعضها فمنها ما يبلغ طول ذراعها , 35 , 32 , 30 , 24 , 20 , 17 62 , 60, 52 , 50 , 46 , 45 , 42 , 36متر طولي.

وتتفاوت الأطوال بسبب نهايات الأذرع حيث أنه في نهايه الذراع يتم تركيب خرطوم ذو نهايتين يتفاوت طول الخرطوم من 4 إلى 6 متر طولي. وتختلف أيضا طريقة فرد أذرع المضخات حيث أنه بإختلاف أطوال الأذرع

يختلف عدد الأذرع في كل مضخة مضخة طول ذراعها 36 م تتكون من 4 أذرع ومضخة طول ذراعها 52 م تتكون من 5 أذرع أيضاً تختلف طريقة فرد الأذرع فهناك أذرع يتم فردها من الخارج إلى الداخل، وهناك نوع يسمى الزيك زاك.

بالنسبة للمضخات الثابتة :

فتختلف أنواعها بحسب قدرتها على ضخ الخرسانة فهي تستخدم في صب الخرسانات في الأماكن البعيدة أفقياً وعمودياً كالأبراج السكنية أو آبار البترول البحرية يمكنها أن تضخ الخرسانة رأسيا حتى 150 متر وأفقياً إلى 500 متر.

عند صب ل RAFT FOUNDATION لها مساحة كبيرة نلجأ لاستخدام 3 مضخات او اكثر لتمام عمليه الصب كل من هذه المضخات في جهه مختلفة لتغطية المساحة المراد صبها بهذه الطريقة يمكننا تغطيه النقاط الافقية . لكن ان كان ارتفاع المبنى كبير جدا 12 او 15 طابق وارتفاع المضخة في وضع راسي يصل الى 40 متر تقريبا" ارتفاع راسي لا يمكن الاستفادة منها في الصب للبلاطات او الاعمدة او الكمرات " نلجأ هنا لاستخدام طريقة الخط الثابت وهو عبارة عن مجموعه من الانابيب توصل مع بعضها من الدور الارضي للمشروع الى المنسوب المراد صبه" تغطيه راسية "توصل ايضا بانابيب اخرى للتغطية الافقية ويتم تغير ارتفاع هذه الانابيب مع ارتفاع الادوار .

ويوجد طريقة اخرى هي طريقة الصب باستخدام PLACING BOOM وهي من الطرق المتقدمة وفكرتها وضع الجزء المتحرك من المضخة على TOWER CRANE ويتم التحكم بها بكل يسر وسهولةحتى ان قائد المضخة لهذا النوع بامكانه مشاهده الجزء المراد صبه مما يقلل حدوث الاخطاء . ان قمنا بعمل مقارنة بسيطة بين الطريقتين السابقتين نجد ان طريقة الصب بالخط الثابت طريقة متعبة جدا وتحتاج الى عمالة اضافية لنقل الانابيب وربطها وتنظيفها عند القيام بتغيير مكان الصب اما طريقة الصب ب PLACING BOOM طريقة جيدة جدا ومريحة لكن تكمن المشكلة في قله استخدامها ارتفاع سعر المتر المكعب من الخرسانة بنسبة % 40 تقريبا.

الاجراءات الواجب اتخاذها عند ضخ الخرسانة الطرية:

1- يجب تحاشي الانحناء الحاد والتغير المفاجئ في أنابيب الضخ.
2- يجب إن لايقل قطر الأنبوب عن ثلاثة إضعاف اكبر مقاس للركام الخشن.
3- ويمكن استعمال الأنابيب الصلدة أو المرنة ولكن الأنابيب المرنة تسبب خسارة إضافية بسب ألاحتاك إضافة إلى بعض مشاكل التنظيف.
4- لايجوز استعمال الأنابيب المصنوعة من الألمنيوم لان المعدن يتفاعل مع القلويات في الاسمنت منتجاً غاز الهيدروجين الذي يؤدي إلى إيجاد فجوات في الخرسانة الصلبة مما يؤدي يضعف مقاومتها.
5- ويجب إن لا تكون الخرسانة المطلوب ضخها خشنة أو لزجة ولا تكون جافة ورطبة جداً أي إن تكون قوامها جيد ودقيقاً هذا وان يكون هطولاً يتراوح بين (40) إلى (100) ملم ومعامل الرص (0.9) إلى (0.95) أو وقت (VeBe) بين (3) إلى (5) ثواني يعتبر مناسب للخرسانة التي في القمع.
6- هذا وان عملية الضخ تؤدي إلى نوع من رص الخرسانة الجزئي لذلك يتخفف هطولها في نقطة تفريغها من الأنبوب بمقدار (10) الى (25) ملم.
7- إن متطلبات القوام ضرورية لتحاشي الزيادة في مقاومة ألاحتكاك الأنبوب في حالة الخرسانة الجافة أو حدوث الانعزال في حالة الخرسانة الرطبة.
8- وبشكل خاص فأن نسبة المواد الناعمة في الخرسانة مهمة جدا حيث إن نقصان هذه النسبة يسبب الانعزال وزيادة هذه النسبة تسبب الاحتكاك واحتمال حدوث انفلاق في الأنابيب والحالة المثالية عندما تكون مقاومة ألاحتاك بين الخرسانة وجدران الأنابيب في الحدود الدنيا وان نسبة الفجوات في الخرسانة تكون اقل ما يمكن ويتم الحصول على هذه الحالة عندما يكون تدرج الركام متجانساً ومستمراً.
9- عندما يكون اكبر مقاس للركام هو (20) ملم (3/4 انج) فأن أفضل نسبة للركام الناعم تكون بين (35) إلى (40) بالمائة والمواد التي مقاسها اقل من (300) ماكرون (No. 50 ASTM) يجب إن تمثل مبين (15) إلى (20) بالمائة من كمية الركام الناعم كذلك يجب إن تكون نسبة الواد المارة من (150) مايكرون (No. 50 ASTM) في حدود 3 بالمائة.

10- في حالة إن تكون الخرسانة مصنوعة من الركام الخفيف الوزن فيجب عندئذ استعمال مضافان خاصة (مساعدات الضخ) للتغلب على مشاكل الناجحة عن انخفاض قابلية التشغيل بسبب قابلية الامتصاص العالية للركام خفيف الوزن إما الخرسانة التي تحتوي على الهواء الداخل فتضخ عادة إلى مسافات قصيرة لا تتجاوز (45) متر (150) قدم لان الهواء الداخل يضغط عند ضخ الخرسانة مسببا انخفاض في قابلية التشغيل.

الخرسانة جاهزة الخلط (Ready –Mixed-Concrete):

بدلاً من تجميع وخلط الخرسانة في موقع العمل تجهز الخرسانة أحيانا للصب في الموقع من معمل مركزي للخلط ويعرف هذا النوع من الخرسانة الجاهزة أو الخرسانة المسبقة الخلط وقد ازداد استعمال هذا النوع من الخرسانة لأنها ذات فوائد متعددة مقارنة بالطرق المألوفة لإنتاج الخرسانة: -

1- السيطرة النوعية الجيدة على تجميع المكون مما يقلل الخلافات في خواص الخرسانة المطلوبة.
2- تستعمل في مواقع الضيقة والمزدوجة وكذلك في إعمال الطرق في حالات ضيق الفاءات المتاحة للخلط الخزن الركام.
3- استعمال الشاحنات الرجاجة للتأكد من العناية بالنقل لمنع الانعزال والمحافظة على قابلية التشغيل.
4- ملائمة استعمالها في حالة الحاجة إلى كميات قليلة من الخرسانة في مكانات متفرقة.

إن سعر الخرسانة الجاهزة أعلى نسبيا من الخرسانة المخلوطة في الموقع تعويضها هذه الزيادة في التوفير في الحاصل نتيجة اختصار تنظيم الموقع وتقليل جهاز الإشراف وتقليل كمية الاسمنت المستعمل وذلك لان السيطرة النوعية أفضل وذلك يقلل الهدر أو الضياع في هذه المادة.

هناك ثلاث أساليب في إنتاج الخرسانة الجاهزة:

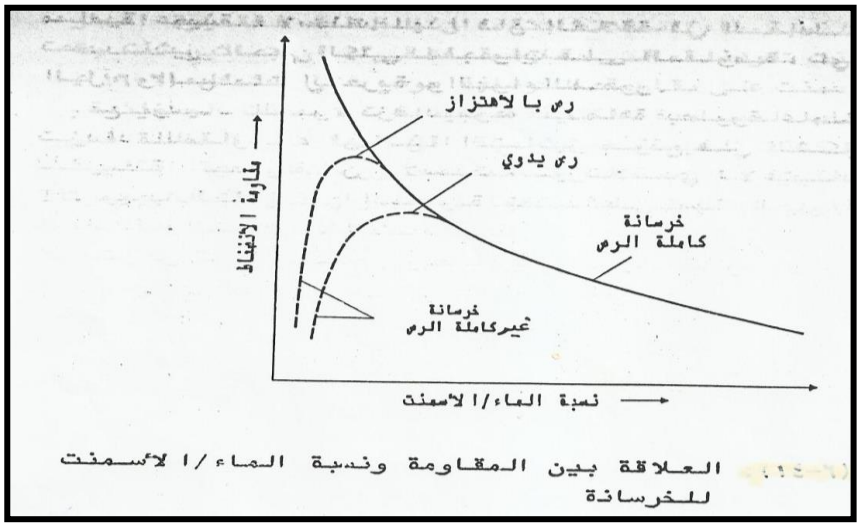
1- الخلط المركزي.
2- الخلط إثناء النقل أو الخلاطات الناقلة.
3- الخلط الجزئي.

ففي الأسلوب الأول تتم الخلط في وحدة مركزية ثم تنقل خرسانة بواسطة شاحنات رجاجة إما في الأسلوب الثاني فان التجميع يتم في وحدة مركزية ويتم الخلط في الشاحنات إثناء النقل أو مباشرة قبل إفراغ الخرسانة في الموقع إن الخلط إثناء النقل يؤدي إلى نقل وقت أطول واقل تأثرا في حالة التأخير ولكن سعة الشاحنة اقل من نفس الشاحنة التي تنقل الخرسانة المسبقة الخط وللتغلب على مساوئ انخفاض السعة أحيانا تخلط الخرسانة جزئيا في وحدة مركزية ويستمر الخط الخلط إثناء النقل وتدعى هذه الخرسانة المنكمشة الخط.
هذا ويجب إيضاح أن الرج يختلف عن الخط بسرعة دوران الخلاط حيث تتراوح بين 2 الى 6 دورة في الدقيقة مقارنة بسرعة الخط التي تتراوح بين 4 الى 16 دورة في الدقيقة وتعتمد المواصفات البريطانية (BS 5328:1981) الرقم 7 دورات في الدقيقة حداً أدنى لسرعة الخط هذا ويجب تثبيت العدد الكلي للدورات في الخلط أو الرج وقد إشارة المواصفة الأمريكية (ASTM C 94-83) إلى أن الحد الأدنى لعدد الدورات هو 300 دورة إن كان للخلط أو للرج آو في خلال ذلك يجب صب الخرسانة خلال 1.5 ساعة من بدء عملية الخلط.
وفي حالة الخلط إثناء النقل ليس بالضرورة إضافة الماء منذ البداية بل يفضل إضافته في نهاية مدة الخلط ولكن وفق المواصفة البريطانية (BS 5328:1981) فان الوقت المسموح بة للاسمنت والركام الرطب للبناء سوية يجب إن لا يزيد عن ساعتين وان تجاوز هذه المدد يؤثر على مقاومة الخرسانة.
أن تأثير زيادة وقت الخلط في حالة الخرسانة الجاهزة هو نفسه بالنسبة للخرسانة التي للخرسانة التي تخلط في الموقع. هذا وتعطي المواصفة البريطانية (BS 5328:1981) شرحاً مفصلاً عن طريق خلط الخرسانة ومن ضمنها الخرسانة الجاهزة.

العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة:

1- نسبة الماء/الاسمنت:

الشكل رقم 1 ادناه يوضح بان العلاقة السائدة بين مقاومة الانضغاط ونسبة الماء/الاسمنت محدودة ويمكن تطبيقها ضمن مدى معين من نسبة الماء/الاسمنت.



العلاقة بين المقاومة ونسبة الماء/الاسمنت للخرسانة

شكل (1) يوضح العلاقة بين مقاومة الخرسانة ونسبة الماء/الاسمنت

2- نسبة الجل/الفراغ:

من الاصح ربط مقاومة الخرسانة بتركيز النواتج الصلبة لعملية الاماهة للاسمنت في الفراغات المتوفرة لها. أي كلما ازدادت نواتج الاماهة الصلبة ضمن الفراغات ازدادت مقاومة الخرسانة.

3- الماء الفعال في الخليط:

يعبر عن الماء الفعال بالماء الذي يشغل الفراغ خارج حبيبات الركام في مرحلة استقرار حجم الخرسانة اي تقريبا في وقت التجمد. بصورة عامة يتالف الماء في الخرسانة من الماء المضاف للخليط اضافة الى ذلك المحجوز من قبل الركام في وقت وضعه في الخلاطة. لذلك يجب اخذ بنظر الاعتبار حالة الركام في الموقع هل هو جاف كليا، جاف جزئيا، مشبع وجاف السطح ورطب. لان هذه الحالات تؤثر على مقدار الماء الفعال الذي سيتفاعل مع الاسمنت.

4- تاثير الركام الخشن:

ان تاثير نوع الركام، ذو الوزن النوعي الاعتيادي والتدرج المعلوم، على مقاومة الانضغاط للخرسانة يكون ثانويا وذلك لكون هذه الانواع ضمن الركام اقى من عجينة الاسمنت المحيطة بها. عند ثبوت محتوى الاسمنت والقوام في الخرسانة فان الركام الكبير المقاس يحتاج الى ماء اقل من الركام الصغير المقاس ولكن الركام ذو المقاس الاكبر يعطي مقاومة اقل من الركام ذو المقاس الاصغر، وهذا بسبب التشققات الحاصلة في عجينة الاسمنت المحيطة بالقطع الكبيرة.

5- تاثير محتوى الاسمنت في الخلطة:

لابد من التاكيد بان هناك ضرورة لوجود حد أدني لمحتوى الاسمنت في الخليط بغية تغليف حبيبات الركام ومليء الفراغات بينها وربط اجزاء الخليط مع بعضها لجعاها كتلة متماسكة وغير قابلة للانفصال وعديمة النفاذية. كما وان الاسمنت يساعد على قابلية التشغيل وعمليات الانهاء ولذلك من الممكن تقليل كمية الماء المستعمل.
كذلك فان الخلطات الغنية بالاسمنت تبدي انخفاضا في المقاومة وخاصة عند استعمال ركام ذو مقاس كبير. لذلك ففي الاعمار المتاخرة لهذا النوع من الخليط لاتؤدي زيادة الاسمنت الى مقاومة عالية. والسبب هو الاجهادات الناتجة عند تقييد الانكماش من قبل حبيبات الركام والتي تؤدي الى تشقق عجينة الاسمنت او فقدان التلاصق بين الاسمنت والركام.

6- نوعية ماء الخلط:

ان نوعية الماء المستعمل في الخلط واحتوائه على الشوائب قد يتعارض مع تجمد الاسمنت وقد يؤثر على مقاومة الخرسانة بصورة عكسية او يسبب تلون سطحها وقد يؤدي ايضا الى تصدأ حديد التسليح. ولهذه الاسباب لابد من الاخذ بنظر الاعتبار ملائمة الماء المستعمل في الخلط او في معالجة الخرسانة.

7- تاثير العمر على الخرسانة:

مع ازدياد العمر تزداد درجة الاماهة, بصورة عامة وتزداد المقاومة الخاصة بالخرسانة ولكن سرعة اكتساب المقاومة ومقدارها خلال عمر الخرسانة يعتمد على عوامل كثيرة مثل نوع مكونات الخرسانة, كمية الاسمنت, نوع الاسمنت, نسب الخلط, طرق الخلط ونقل ورص ومعالجة الخرسانة وغيرها من العوامل.

8- تاثير درجة الحرارة:

ان ارتفاع درجة الحرارة خلال معالجة الخرسانة يسرع من التفاعلات الكيميائية لعملية الاماهة وبهذا يؤثر بصورة ايجابية على المقاومة المبكرة للخرسانة دون حدوث سلبي على المقاومة المتاخرة. على الرغم من ذلك، عندما تكون درجة الحرارة عالية خلال وضع وتجمد الخرسانة، مع انها تزيد من المقاومة المبكرة جدا للخرسانة، فانها قد تؤثر بصورة عكسية على المقاومة من عمر 7 أيام ومابعده. ويعلل تفسير ذلك الى تن الاماهة البدائية السريعة تؤدي الى تكوين نواتج اماهة ذات بنية فيزياوية ضعيفة ومن المحتمل ان تكون أكثر مسامية لذلك، فان نسبة كبيرة من المسامات ستبقى دائما غير مملوءة بنواتج الاماهة وهذا له تاثير سلبي على مقاومة الخرسانة.

العوامل المؤثرة على نتائج فحوصات مقاومة الخرسانة المتصلبة:

هناك مجموعة من العوامل المؤثرة على نتائج فحوصات مقاومة الخرسانة المتصلبة:

1- الفحوصات التي تجري على النماذج الصغيرة نسبيا وتحت ظروف قياسية لاتعتبر كمقياس حقيقي لمقاومة الخرسانة في المنشات المعرضة الى انواع مركبة من الاجهادات او الى ظروف جوية مختلفة. ومع ذلك فان الفحوصات القياسية كافية الدقة للاغراض العملية بشان التصميم الانشائي والسيطرة النوعية الموقعية. والسبب الرئسي في الاختلاف هو اختلاف ظروف التعرض التحميلية والظروف الجوية.

2- مقاس النموذج, كلما زاد حجم الخرسانة المعرضة للاجهاد وكلما زاد احتمال تواجد جزء ضعيف ضمن هذا الحجم وبذلك ستقل مقاومة النموذج المقاسة مقارنة مع النموذج ذو المقاس الاصغر.

3- ظروف الرطوبة للنموذج, فمقاومة الانضغاط تقل عندما يكون النموذج رطبا خلال الفحص وسبب ذلك يرجع الى تمدد جل الاسمنت بواسطة الماء الملتصق بسطوحه مسببا نقصانا في قوى التماسك لجسيمات الجل الرطبة.

4- معدل سرعة تسليط الحمل على نموذج الفحص, كلما قل معدل زيادة الاجهاد المسلط كلما كانت قيمة المقاومة المسجلة اقل. لذلك يجب تسلسط الحمل عند الفحص بسرعة قياسية وكما هو مبين في المواصفات.

5- اتجاه صب النموذج.

6- اسلوب وطريقة رص النموذج واتجاه الرص.

7- درجة حرارة النموذج.

8- المقاس الاقصى للركام مقارنة مع حجم النموذج.

9- نوع صفيحة التحميل الخاصة بماكنة الفحص.

الانكماش في الخرسانة
(Shrinkage of Concrete)

الانكماش:

هو أحد أنواع التغيرات الحجمية التي تعاني منها الخرسانة، ويعرف بأنه التقليل في حجم الخرسانة ومسببا التشقق، وتعاني الخرسانة من أنواع مختلفة من الانكماش.

أنواع الانكماش:

1- الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage)
2- الانكماش الجفاف (Dry Shrinkage)
3- الانكماش المتباين (Differential Shrinkage)
4- الانكماش الكربنة (Carbonation Shrinkage)

1- الانكماش اللدن (Plastic Shrinkage):

يحصل الانكماش اللدن في الخرسانة الطرية التي تحصل فيها ظاهرة النضح وعندما تكون سرعة تبخر الماء من سطح الخرسانة أعلى من سرعة النضح مسببا تشقق الخرسانة. في بعض الأحيان يستعمل مسحوق الألمنيوم الذي يسبب تمدد عجينة الاسمنت قليلا لتجنب تأثير الانكماش الحاصل نتيجة للنضح. يمكن تجنب هذا الانكماش بمنع تبخر الماء كليا من سطح الخرسانة حال صبها.

2- انكماش الجفاف (Dry Shrinkage):

إن انسحاب الماء من الخرسانة الموضوعة في هواء غير مشبع يسبب انكماش الجفاف. وقسم من هذه الحركة الموضعية غير قابل للانعكاس ومن الضروري تمييزه عن انتقال الرطوبة القابل للانعكاس.

آلية انكماش الجفاف:

التغير الحاصل في حجم الخرسانة الجافة لايكون مساويا إلى حجم الماء المفقود وأسباب انكماش الجفاف هي:-

أ- فقدان الماء الطليق والذي يحدث اوّلا, قد تسبب جزء قليل من الانكماش.

ب- زوال الماء الملصق بسطح جسيمات الجل وفي هذة المرحلة يكون التغير في حجم عينة الاسمنت الغير مقيدة مساويا تقريبا لفقدان غلاف مائي سمكة جزيئة واحدة من سطح جميع جسيمات الجل.

ج - إزالة الماء المتحد كيمياويا مع الاسمنت.

* (تشير ظواهر عديدة إلى إن السبب الأساسي في الانكماش هو التغير في البنية الفيزياوية للجل وليس في الصفات الكيمياوية والمعدنية).

العوامل المؤثرة على انكماش الجفاف:

1- محتوى الركام في الخليط:

كلما يزداد محتوى الركام في الخليط تقل عجينة الاسمنت فيقل الانكماش.

2- مقاس الركام:

مقاس وتدرج الركام لايؤثر لوحدة على مقدار الانكماش ولكنة الركام الأكبر يسمح استعمال كمية اقل من الاسمنت في الخليط وينتج عند ذلك انكماش اقل.

3- الخواص المرنة للركام:

الركام الحديدي يؤدي إلى انكماش اقل بمقدار الثلث والحجر والطين الرخو والممدد أكبر بمقدار الثلث من الركام الاعتيادي.

4- نوع الركام:

الركام الخفيف الوزن يؤدي إلى انكماش أعلى من الركام الاعتيادي، وكذلك فان الركام الخفيف الذي يتضمن نسبة عالية من المواد الناعمة والتي يكون مقاسها أقل من منخل مقاس 75 مايكرون (منخل رقم 200) يسبب في انكماش أعلى لان المواد الناعمة تؤدي إلى محتوى أكبر للفجوات.

5- خواص الاسمنت, نعومتة وتركيبه الكيمياوي:

لها تأثير قليل على انكماش الخرسانة، ونعومة الاسمنت تكون عاملا مؤثرا فقط بقدر تعلق الأمر بالحبيبات الاخشن من منخل مقاس 75 مايكرون (منخل رقم 200) يتمئا بدرجة اقل بالمقارنة، أي إن عملها سيكون مشابها للركام في تقييد الحركة أما تركيب الاسمنت الكيمياوي ليس له تأثير على الانكماش ما عدا أنواع الاسمنت التي تعاني من نقص في محتوى الجبس فإنها تبدي زيادة كبيرة في الانكماش.

6- الإضافات:

لها تأثيرات متباينة على الانكماش، فقد وجد إن الهواء المقصود لايؤثر على الانكماش كما إن كاوريد الكالسيوم المضاف يزيد من الانكماش بمقادير متفاوتة يتراوح بين 10 إلى 50%. أما الملدنات والتي تسمح بتقليل محتوى ماء الخليط يكون الناتج النهائي للتأثير على الانكماش معدوما.

7- فترة معالجة الخرسانة:

إن إطالة فترة معالجة الخرسانة يؤثر من ظهور الانكماش، ولكن تأثير المعالجة على مقدار الانكماش يكون قليلا مع انه معقد بعض شيء.

8- الرطوبة النسبية للوسط المحيط الخرسانة:

تؤثر الرطوبة النسبية في محيط الخرسانة بدرجة كبيرة على مقدار الانكماش حيث إن يقل الانكماش كلما ازدادت الرطوبة النسبية.

3- الانكماش المتباين (Differential Shrinkage):

يحصل هذا الانكماش عندما يحدث فقدان الرطوبة من السطح مؤديا إلى حدوث تدرج رطوبة في النموذج الخرساني وبهذا سيعرضه إلى انكماش متباين. هذا النوع من الانكماش يعوض بالانفعالات الناتجة عن الاجهادات الداخلية والشد قرب السطح والانضغاط في اللب الداخلي. وعند حدوث الجفاف بصورة غير منتظمة ينتج للالتواء عند ذلك. يمتد الانكماش تدريجا من السطح الجاف إلى داخل الخرسانة ولكن بصورة بطيئة للغاية.

بسبب حدوث الجفاف في سطح الخرسانة، فان مقدار الانكماش يتغير بدرجة كبيرة مع مقاس وشكل النموذج، ويكون دالة لنسبة السطح/ حجم النموذج. كما إن الانكماش الملحوظ يقل بزيادة مقاس النموذج ولكن فوق قيمة

معينة يصبح تأثير مقاس النموذج غير ملحوظ. من الممكن التعبير عن الانكماش كدالة لنسبة الحجم/السطح النموذج حيث إن الانكماش المتباين يقل كلما ازدادت نسبة الحجم/السطح.

أما فيما يخص تأثير شكل النموذج فانه يعتبر ثانويا، على سبيل المثال، النماذج ذات الشكل I تبدي انكماشا اقل من تلك الاسطوانية وذات نفس نسبة الحجم/السطح.

4- انكماش الكربنة (Carbonation Shrinkage):

الخرسانة تتعرض لنوع من الانكماش نتيجة لتأثير التشبع بغاز ثاني اوكسيد الكاربون (CO_2) ويعرف بانكماش الكربنة. حيث يتفاعل غاز ثاني اوكسيد الكاربون الموجود في الجو، بوجود الرطوبة، مع مركبات الاسمنت المتميئة (العامل المساعد الحقيقي لتفاعل هو حامض الكاربونيك). ان فعل (CO_2) يأخذ دوره حتى ولو كان تركيزه في الهواء قليلا كما يحدث في المناطق الريفية. ويزداد معدل الكربنة بزيادة تركيز (CO_2).

ونتيجة لهذا التفاعل يتشبع هيدروكسيد الكالسيوم $Ca(OH)_2$ بثاني اوكسيد الكاربون مكونا كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$, ولكن المركبات الأخرى للاسمنت تتحلل وينتج عن ذلك السيكا المتميئة والالومينا واوكسيد الحديد. تغلغل الكربنة من سطح الخرسانة يكون بطيئا للغاية. معدل سرعة الكربنة يعتمد على محتوى الرطوبة في الخرسانة والرطوبة النسبية للوسط المحيط بها إضافة إلى مقاس النموذج.

من المحتمل ان تشارك الكربنة في تقشط السطح الخارجي للخرسانة. هناك مظهر أخر للكربنة من المعلوم بان الظروف القاعدية لعجينة الاسمنت المتميئة تحافظ على وقاية حديد التسليح من الصدأ. وفي هذه حالة فقدان هذه القاعدية عن طريق معادلتها بكربنة الغلاف الخرساني المحيط لحديد التسليح، إضافة إلى وجود ظروف مساعدة لانتقال الرطوبة والأوكسجين إلى سطح حديد التسليح فان ذلك سيؤدي إلى صدأ حديد التسليح ومن ثم تلفه.

تصميم الخلطات الخرسانية
(CONCRETE MIX DESIGN)

تجدر الاشارة هنا بان الغرض الرئيسي من دراسة خواص الخرسانة هو لمعرفة العوامل المختلفة التي تؤثر على او تحدد نسب مكوناتها وعلاقتها مع بعضها البعض بعنية التمكن من تصميم الخلطة الخرسانية وتوضيح بعض المحددات.
يمكن تعريف تصميم الخلطة الخرسانية بانها عملية اختيار مواد الخلط المناسبة وتقدير كمياتها النسبية بهدف انتاج خرسانة بأقل كلفة وحاصلة على الحد الادنى من خواص معينة وبصورة خاصة القوام والمقامة والمتانة.

الأعتبارات الأساسية:

هناك نقطتان مهمتان لابد من التاكيد عليهما واخذها بنظر الاعتبار عند تصميم الخلطة الخرسانية وهي:
أ- الكلفة.
ب- امتلاك الخرسانة الحد الادنى من خواص محددة بمواصفات.

العوامل المؤثرة في اختيار نسب الخلط :

1- المقاومة.
2- السيطرة النوعية.
3- المتانة.
4- قابلية التشغيل
5- المقاس الأقص للركام.
6- تدرج ونوع الركام.

طرق تصميم الخلطات الخرسانية:

هناك العديد من الطرق المستخدمة لتصميم الخلطات الخرسانية وسيتم التركيز على:
أ- الطريقة الأمريكية.
ب- الطريقة البريطانية.

الطريقة الأمريكية لتصميم الخلطات الخرسانية
لتصميم الخلطات الخرسانية الاعتيادية والخلطات الخرسانية الحاوية على مضافات الهواء المقصود

1- اختيار مقدار الهطول:

في حالة عدم تحديد مقدار الهطول في المواصفات من الممكن اختيار الهطول المناسب للعمل من الجدول رقم (1). علما بان مديات الهطول المبينة مثبتة على أساس استعمال الهزازة لإتمام عملية الرص. وفي حالة استعمال أساليب أخرى لرص الخرسانة غير استعمال الهزازة فمن الممكن زيادة القيم المبينة في الجدول رقم (1) بمقدار 20 mm.

جدول (1) قيم الهطول المناسبة لأنواع مختلفة من المنشآت

نوع المنشأ	الهطول (mm)	
	الحد الأدنى	الحد الأعلى
الأسس المسلحة للجدران والأعمدة	20	80
الأسس الغير المسلحة وجدران الهياكل الثانوية	20	80
العتبات والجدران المسلحة	20	100
الأعمدة	20	100
بلاطات وأرصفة الطرق	20	80
خرسانة كتلية	20	80

2- اختيار المقاس الأقصى للركام:

الأسس المعتمدة في اختيار المقاس الأقصى للركام هي باستعمال أكبر مقاس للركام المتوفر بصورة اقتصادية وان يناسب المقاس أبعاد المنشأ الخرساني. وفي أية حال من الأحوال يجب أن لا يزيد المقاس الأقصى عن 5/1 أقل بعد بين جانبي القالب أو عن 3/1 عمق البلاط أو عن 4/3 اصغر فسحة بين قضبان حديد التسليح المنفردة أو المجمعة.

3- تقدير كمية ماء الخلط ومحتوى الهواء:

يمكن تقدير كمية ماء الخلط المطلوبة وكذلك محتوى الهواء المحصور من جدول رقم (2) بعد معرفة مقدار الهطول والمقاس الأقصى للركام.

جدول (2): المتطلبات التقريبية لماء الخلط ومحتوى الهواء لمختلف قابلية التشغيل والمقاسات الاسمية للركام، وفقا للمواصفة الأمريكية (ACI 211.1 – 81)

قابلية التشغيل أو محتوى الهواء	محتوى الماء (كغم / م^3) من الخرسانة لمقاس الركام الأقصى المبين							
	10ملم	12.5ملم	20ملم	25 ملم	40ملم	50ملم	70ملم	150ملم
الهطول:	خرسانة عديمة الهواء المدخل بقصد (خرسانة اعتيادية)							
30-50ملم	205	200	185	180	160	155	145	125
80-100	225	215	200	195	175	170	160	140
150-180	240	230	210	205	185	180	170	----
محتوى الهواء المحصور التقريبي بالمائة,(%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
الهطول:	خرسانة حاوية على الهواء المدخل بقصد							
30-50 ملم	180	175	165	160	145	140	135	120
80-100	200	190	180	175	160	155	150	135
150-180	215	205	190	185	170	165	160	----
معدل محتوى الهواء الكلي المقترح بالمائة (%)								
تعرض خفيف	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
تعرض معتدل	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
تعرض شديد	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

4- اختيار نسبة الماء /الاسمنت:

من الممكن تقدير نسبة الماء/الاسمنت من جدول رقم (3) بعد معرفة مقاومة الانضغاط الموصوفة والمعينة للخرسانة أو من جدول رقم (4) بعد معرفة معدل مقاومة الانضغاط للخرسانة.

جدول (3): العلاقة بين نسبة الماء/الاسمنت و مقاومة الانضغاط الموصوفة والمعينة للخرسانة وفقا للمواصفة الأمريكية (ACI 318 - 83)

معدل مقاومة الانضغاط للخرسانة بعمر 28 يوم	نسبة الماء الفعال / الاسمنت (بالوزن)	
(MPa), نيوتن/م٢	الخرسانة الاعتيادية	الخرسانة الحاوية على الهواء المدخل قصدا
---	0.38	---
30	0.40	---
---	0.44	0.35
25	0.50	0.39
---	0.51	0.40
---	0.58	0.46
20	0.60	0.49
17	0.66	0.54
---	0.67	0.54

جدول (4): العلاقة بين نسبة الماء/الاسمنت ومعدل مقاومة الانضغاط للخرسانة وفقا للمواصفة الأمريكية (ACI 211.1 -8 1)

معدل مقاومة الانضغاط للخرسانة بعمر 28 يوم	نسبة الماء الفعال / الاسمنت (بالوزن)	
(Mpa), نيوتن/ملم٢	الخرسانة الاعتيادية	الخرسانة الحاوية على الهواء المدخل قصدا
45	0.38	---
---	0.41	---
40	0.43	---
35	0.48	0.40
30	0.55	0.46
---	0.57	0.48
25	0.62	0.53
---	0.68	0.59
20	0.70	0.61
15	0.80	0.71
---	0.82	0.74

ويمكن احتساب معدل مقاومة الانضغاط للخرسانة من المعادلات التالية:

(أ) عند توفر معلومات سابقة ومعرفة نسبة الفشل يتم تحديد الانحراف المعياري ومن ثم نحصل على معدل المقاومة المطلوبة,المقاومة المستهدفة من المعادلة التالية:

$$f_{cr} = f_c + M$$

حيث إن:

f_{cr} = معدل مقاومة الانضغاط المطلوبة,- المقاومة المستهدفة - (نيوتن/ملم^2)

f_c = مقاومة الانضغاط المحددة والمعينة و الموصوفة (نيوتن/ملم^2)

M = المجال

$$K * S = M$$

حيث إن:

K = القيمة المناسبة للنسبة المئوية الفاشلة المسموح بها ودون المقاومة المعينة (جدول رقم 5)

S = الانحراف المعياري (نيوتن/ملم^2)

(ب) عند توفر معلومات سابقة وعدم معرفة نسبة الفشل يتم تحديد الانحراف المعياري ومن ثم نحصل على معدل المقاومة المطلوبة,المقاومة المستهدفة من اكبر المعادلات التالية:

$$f_{cr} = f_c + 1.64 * (S)$$
$$f_{cr} = f_c + 2.33 * (S) - 3.5$$

حيث إن:

f_{cr} = معدل مقاومة الانضغاط المطلوبة,- المقاومة المستهدفة - (نيوتن/ملم^2)

f_c = مقاومة الانضغاط المحددة والمعينة و الموصوفة (نيوتن/ملم^2)

S = الانحراف المعياري(نيوتن/ملم^2)

جدول (5): نسبة الفشل وعامل الاحتمالية K

عامل الاحتمالية K	احتمالية المقاومة في المدى (fcr ± KS) بالمائة	احتمالية المقاومة في اقل من (fcr - KS) بالمائة (نسبة الفشل)
1.00	68.20	15.90 (1 من 6)
1.64	90.00	5.00 (1 من 20)
1. 96	95.00	2.50 (1 من 40)
2.33	98.00	1.00 (1 من 100)
3.00	99.7	0.15 (1 من 700)

ملاحظة:

بعد تحديد الانحراف المعياري يجب تعديله من القيم الموجودة في جدول (6) إذا كانت عدد الفحوصات أكثر من 15 فحص.

جدول (6): معامل التعديل للانحراف المعياري المبين من قبل (ACI 3 18 -83)

عدد الفحوصات	معامل الانحراف المعياري
15	1.16
20	1.08
25	1.03
أو أكثر30	1.00

(ج) عند عدم توفر معلومات سابقة يتم احتساب معدل المقاومة المطلوبة,المقاومة المستهدفة من المعادلة التالية:

$$f_{cr} = f_c + \text{(مقدار الزيادة (من جدول رقم 7}$$

جدول (7): الزيادة المطلوبة في المقاومة لمقاومة الانضغاط المحددة والمعينة والموصوفة عندما لا تتوفر تسجيلات فحوصات وفقا إلى (ACI 3 18 -83)

مقاومة الانضغاط المحددة والمعينة والموصوفة نيوتن/ملم٢ (MPa)	الزيادة المطلوبة في المقاومة نيوتن/ملم٢ (MPa)
أقل من 15	7.0
21 إلى 35	8.5
35أو أكثر	10.0

<u>ملاحظة:</u> التأكد من الحد الأعلى لنسبة الماء/الاسمنت المسموح بها من الجدول رقم (8) ,ثم قارن هذه النسبة مع النسبة المستخرجة من الجدول رقم (3) أو من الجدول رقم (4) ثم استعمل النسبة الدنيا.

جدول (8) الحد الأعلى لنسبة الماء/الاسمنت أو نسبة الماء/ المواد الإسمنتية المسموح بها للاستعمال في الخرسانة المعرضة للظروف القاسية

د الأعلى لنسبة الماء/الاسمنت أو نسبة الماء/ المواد الإسمنتية المسموح بها للاستعمال في الخرسانة المعرضة للظروف القاسية		
نوع المنشأ	المنشأ مشبع بالرطوبة غالبا أو بصورة مستمرة ومعرض لدورات من الانجماد والذوبان	المنشأ المعرض لماء البحر أو لأملاح الكبريتات
مقاطع رقيقة مثل (أرصفة الطرق وعتبات الأبواب والنوافذ) والمقاطع التي يقل غطاء الخرسانة لحديد التسليح فيها عن 25 mm	0.45	0.40
الأنواع الأخرى من المنشات	0.50	0.45

<u>5- احتساب محتوى الاسمنت:</u>

يمكن احتساب كمية الاسمنت المطلوبة لوحدة الحجم من الخرسانة من التقديرات المستخرجة من الخطوات 3 و4 وحسب المعادلة التالية:

$$\text{كمية الاسمنت } (kg/m^3) = \text{كمية ماء الخلط المقدرة/ نسبة الماء- الاسمنت}$$

<u>ملاحظة 1:</u>
تقارن كمية الاسمنت المحسوبة من المعادلة مع الحد الأدنى لكمية الاسمنت المسموح بها وتؤخذ القيمة العليا.

<u>ملاحظة 2:</u>
إذا تم استخدام مواد بوزولانية كنسبة تعويضية من وزن الاسمنت مثل (الرماد المتطاير، السيليكا وخبث الأفران العالية) يجب احتساب وزن المادة البوزولانية وكذلك وزن الاسمنت الجديد من المعادلات التالية:

وزن المادة البوزولانية = نسبة المادة *وزن الاسمنت
وزن الاسمنت الجديد = وزن الاسمنت الأول – وزن المادة البوزولانية

6- تقدير محتوى الركام الخشن:

إن القيم التقريبية لحجم الركام اللازم لوحدة الحجم من الخرسانة مبينة في جدول رقم (9) والذي يعتمد على المقاس الأقصى للركام الخشن ومعامل نعومة الركام الناعم المستعمل. إن الوزن الجاف للركام الخشن اللازم لكل متر مكعب من الخرسانة يمكن حسابه من المعادلة التالية:

وزن الركام الخشن الجاف = القيمة المستحصلة من جدول رقم (9)*الكثافة الجافة المرصوصة للركام الخشن

جدول (9): الحجم الكلي الجاف للركام الخشن لكل وحدة حجم من الخرسانة كما حدد من قبل المواصفة الأمريكية (ACI 211.1 -8 1)

المقاس الأقصى للركام (ملم)	حجم الركام الخشن الكلي الجاف والمرصوص بالدك اليدوي لكل وحدة حجم من الخرسانة ولمعامل نعومة الرمل بمقدار:			
	معامل النعومة للرمل			
	2.40	2.60	2.80	3.00
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	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
70	0.82	0.80	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

7- تقدير محتوى الركام الناعم:

بعد استخراج التقدير الأولي لكثافة (وحدة الوزن) الخرسانة الطرية من جدول رقم (10) بعد معرفة المقاس الأقصى للركام يمكن احتساب وزن الركام الناعم الجاف من المعادلة التالية: -

***عند عدم استخدام مواد مضافة بوزولانية: -**

وزن الركام الناعم الجاف = وزن الخرسانة – (وزن الاسمنت + وزن الماء + وزن الركام الخشن الجاف)

***عند استخدام مواد مضافة بوزولانية: -**

وزن الركام الناعم الجاف = وزن الخرسانة – (وزن الاسمنت الجديد+ وزن المادة البوزولانية + وزن الماء + وزن الركام الخشن الجاف) (kg/m^3)

جدول (10): التقدير الأولي لكثافة (وحدة الوزن) الخرسانة الطرية محددة بالمواصفة الأمريكية (ACI 211.1 -81)

المقاس الأقصى للركام (ملم)	التقدير الأولي لكثافة (وحدة الوزن) الخرسانة الطرية	
	خرسانة اعتيادية (كغم/م^3)	خرسانة حاوية على الهواء المدخل قصدا (كغم/م^3)
10	2285	2190
12.5	2315	2235
20	2355	2280
25	2375	2315
40	2420	2355
50	2445	2375
70	2465	2400
150	2505	2435

8- تعديل الأوزان حسب المحتوى المائي للركام:

يجب تعديل أوزان كل من الماء، الركام الناعم والركام الخشن وحسب حالة الركام بنوعيه حديث إن هناك أربعة حالات للركام وهي ركام جاف كليا، ركام جاف جزئيا، ركام مشبع وجاف السطح وركام رطب.

ملاحظة:
إذا تم استخدام مضافات ملدنة (مقللة للماء) مع الخرسانة يجب تعديل وزن ماء الخلط وحسب المعادلة التالية: -

وزن ماء الخلط الجديد = وزن ماء الخلط الأولي – وزن الماء المقلل (حسب تأثير الملدن المستعمل) (kg/m^3)

وزن الملدن المضاف = نسبة الملدن * وزن الاسمنت أو وزن المادة الإسمنتية (حسب استعمال الملدن)

9- تحويل أوزان مكونات الخرسانة إلى نسب:

من المفضل تحويل أوزان مكونات الخرسانة إلى نسب مع بيان نوعية النسب هل هي وزنية ام حجمية مع ذكر نسبة الماء /الاسمنت أو نسبة الماء /المواد الإسمنتية.

ملاحظة :
إن الأوزان المحسوبة في أعلاه لمكونات الخرسانة هي لمتر مكعب واحد من الخرسانة. وإذا أريد إنتاج أحجام أخرى من الخرسانة فيتم احتساب الأوزان من خلال حاصل ضرب أوزان مكونات الخرسانة لمتر مكعب واحد مع الحجوم المطلوب انتاجها من الخرسانة.

الطريقة البريطانية لتصميم الخلطات الخرسانية

1- اختيار نسبة الماء /الاسمنت:

أ- احتساب معدل القيمة المستهدفة للمقاومة:

إذا كانت المعلومات السابقة المتوفرة والخاصة بالتغيرات الحاصلة في فحوصات المقاومة تتضمن اقل من 40 نتيجة فان الانحراف المعياري المستعمل في الحسابات يؤخذ من المستقيم A في الشكل رقم 2 وفي حالة كون المعلومات السابقة المتوفرة تشمل على 40 نتيجة أو أكثر فمن الممكن استعمال الانحراف المعياري, لهذه النتائج, المحسوب من المعادلة التالية:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - m)^2}{n - 1}}$$

حيث إن:
s = الانحراف المعياري (نيوتن/ملم^2)
X = نتيجة فحص فردية لمقاومة الانضغاط (نيوتن/ملم^2)
n = عدد نتائج الفحص
m = معدل القيمة لمقاومة الانضغاط لعدد n من نتائج الفحص (نيوتن/ملم^2)

وبشرط أن لاتكون هذه القيمة اقل من القيمة المناسبة والمستحصلة من المستقيم B في الشكل رقم 2 .

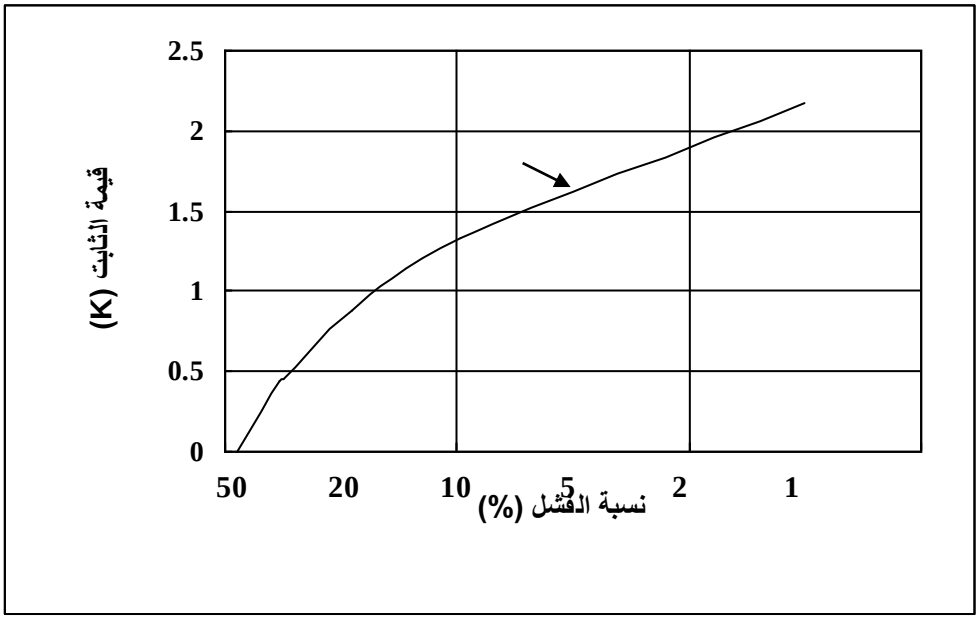
من الممكن احتساب معدل القيمة المستهدفة للمقاومة من المعادلة التالية:

$$f_m = f_c + M$$

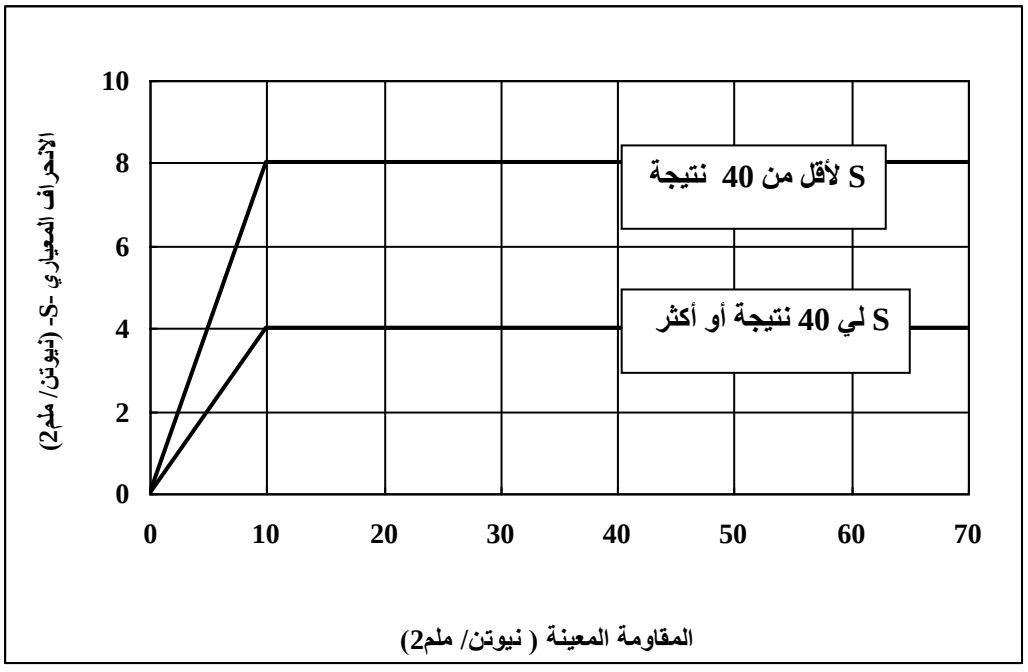
حيث إن:
f_m = معدل القيمة المستهدفة للمقاومة (نيوتن/ملم^2)
f_c = المقاومة المعينة و الموصوفة (نيوتن/ملم^2)
M = المجال

$$M = K * S$$

حيث إن:
K = القيمة المناسبة للنسبة المئوية الفاشلة المسموح بها ودون المقاومة المعينة (شكل رقم 1)
S = الانحراف المعياري (نيوتن/ ملم^2)



شكل (1): العلاقة بين العامل K ونسبة النتائج المتوقعة ودون المقاومة المعينة



شكل(2): العلاقة بين الانحراف المعياري والمقاومة المعينة

ب- الحصول على مقاومة الخرسانة المصنوعة بنسبة ماء طليق/اسمنت مساوية إلى 0.5:

والخطوة التالية هي الحصول من الجدول رقم 1 على مقاومة انضغاط خليط الخرسانة المصنوع بنسبة ماء طليق/اسمنت مساوية إلى 0.5 حسب العمر المحدد ونوع الاسمنت والركام المستعمل.

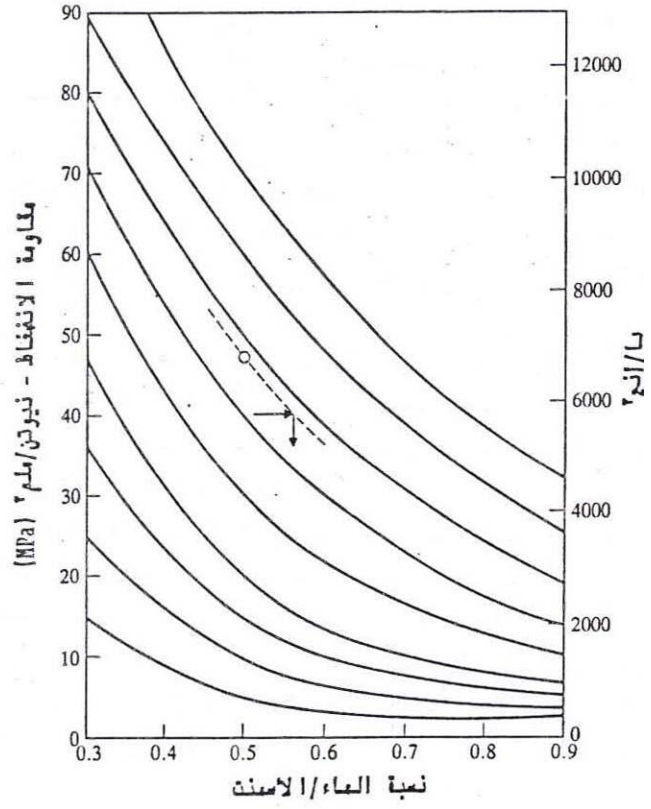
جدول (1) : مقاومة الانضغاط التقريبية لخلطات خرسانية ذات نسبة ماء طليق/اسمنت مقداره 0.5 وفقا إلى الطريقة البريطانية 1986.

نوع الاسمنت	نوع الركام الخشن	مقاومة الانضغاط، (نيوتن/ ملم^2) لعمر:			
		3 يوم	7 يوم	28 يوم	91 يوم
الاسمنت البورتلاندي (نوع I) والاسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات (نوع v)	غير مكسر	22	31	43	50
	مكسر	27	36	48	55
الاسمنت البورتلاندي السريع التصلب (نوع III)	غير مكسر	29	37	43	55
	مكسر	34	43	54	60

جـ- إيجاد نسبة الماء /الاسمنت:

يتم تثبت هذه القيم المستخرجة من جدول رقم 1 على شكل رقم 3 ويرسم منحني موازي للمنحنيات المثبتة على الشكل ولحين تقاطعه مع الخط المستقيم المار بالاحداثي العمودي والذي يمثل معدل القيمة المستهدفة للمقاومة. وبذا فان القيمة المناضرة لنسبة الماء الطليق/الاسمنت يمكن قراءتها من الاحداثي الأفقي.

ملاحظة: التأكد من الحد الأعلى لنسبة الماء/الاسمنت المسموح بها، ثم قارن هذه النسبة مع النسبة المستخرجة من الخطوات أعلاه ثم استخدم القيمة الأقل.



شكل (3): العلاقة بين مقاومة الانضغاط ونسبة الماء الطليق / الاسمنت

2 – اختيار محتوى الماء الطليق:

يمكن تقدير كمية ماء الخلط المطلوبة من جدول رقم (2) بعد معرفة مقدار الهطول والمقاس الأقصى للركام وكذلك نوع الركام.

جدول (2) : محتوى الماء الطليق التقريبي اللازم لإعطاء مستويات مختلفة لقابلية التشغيل وفقا للطريقة البريطانية 1986.

الركام		محتوى الماء (كغم/م^3)			
المقاس الأقصى (ملم)	النوع	الهطول (ملم)			
		10-0	10-30	30-60	60-180
		V-B(ثانية)			
		أكبر من 12	12-6	6-3	3-0.0
10	غير مكسر	150	180	205	225
	مكسر	180	205	230	250
20	غير مكسر	135	160	180	195
	مكسر	170	190	210	225
40	غير مكسر	115	140	160	175
	مكسر	155	175	190	205

ملاحظة: عند استعمال أنواع مختلفة من الركام الناعم والخشن فان محتوى الماء الطليق يمكن حسابه من العلاقة التالية:

$$\text{محتوى الماء الطليق (كغم/م}^3\text{)} = 2/3W_f + 1/3W_c$$

حيث إن:

W_f = محتوى الماء الطليق المناسب لنوع الركام الناعم (كغم/م^3) – من جدول رقم 2

W_c = محتوى الماء الطليق المناسب لنوع الركام الخشن (كغم/م^3) – من جدول رقم 2

3 – تقدير محتوى الاسمنت:

يمكن احتساب كمية الاسمنت المطلوبة لوحدة الحجم من الخرسانة من التقديرات المستخرجة من الخطوات 1 و2 وحسب المعادلة التالية:

$$\text{كمية الاسمنت } (kg/m^3) = \text{كمية ماء الخلط المقدرة/ نسبة الماء- الاسمنت}$$

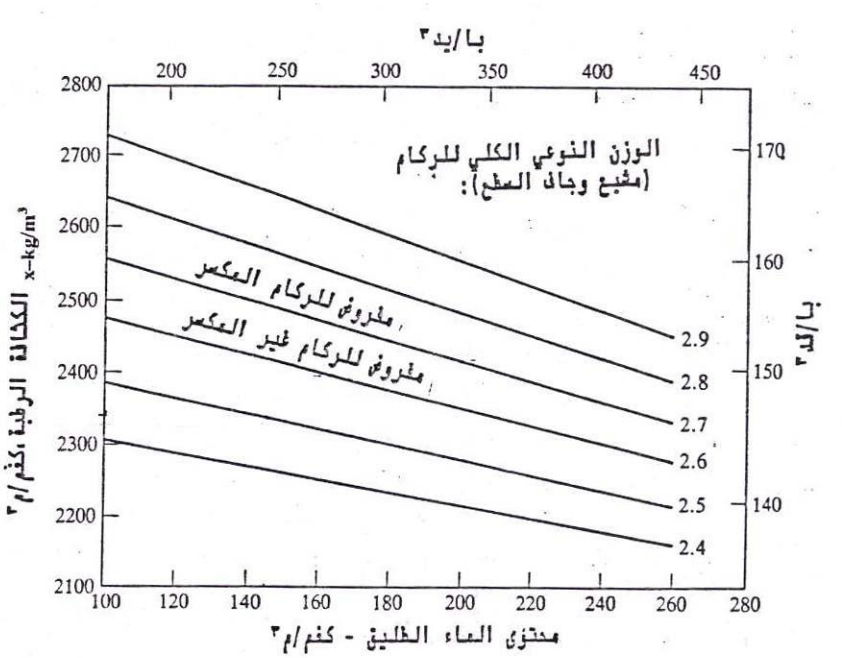
ملاحظة:

تقارن كمية الاسمنت المحسوبة من المعادلة مع الحد الأدنى لكمية الاسمنت المسموح بها وتؤخذ القيمة العليا.

4- تقدير المحتوى الكلي للركام:

يتم تقدير كثافة الخرسانة المرصوصة كليا من شكل رقم 4 والذي يعتمد على محتوى الماء الطليق والكثافة النسبية للركام (الوزن النوعي). وفي حالة عدم توفر معلومات تخص الكثافة النسبية للركام فمن الممكن افتراض قيمة 2.6 للركام الغير مكسر وقيمة 2.7 للركام المكسر. إن المحتوى الكلي للركام الكلي (مشبع وجاف السطح) يمكن حسابه من المعادلة التالية:

محتوى الركام الكلي (مشبع وجاف السطح) = كثافة الخرسانة – وزن الاسمنت – وزن الماء
(kg/m^3)



شكل (4): الكثافة الرطبة المقدرة للخرسانة المرصوصة كليا

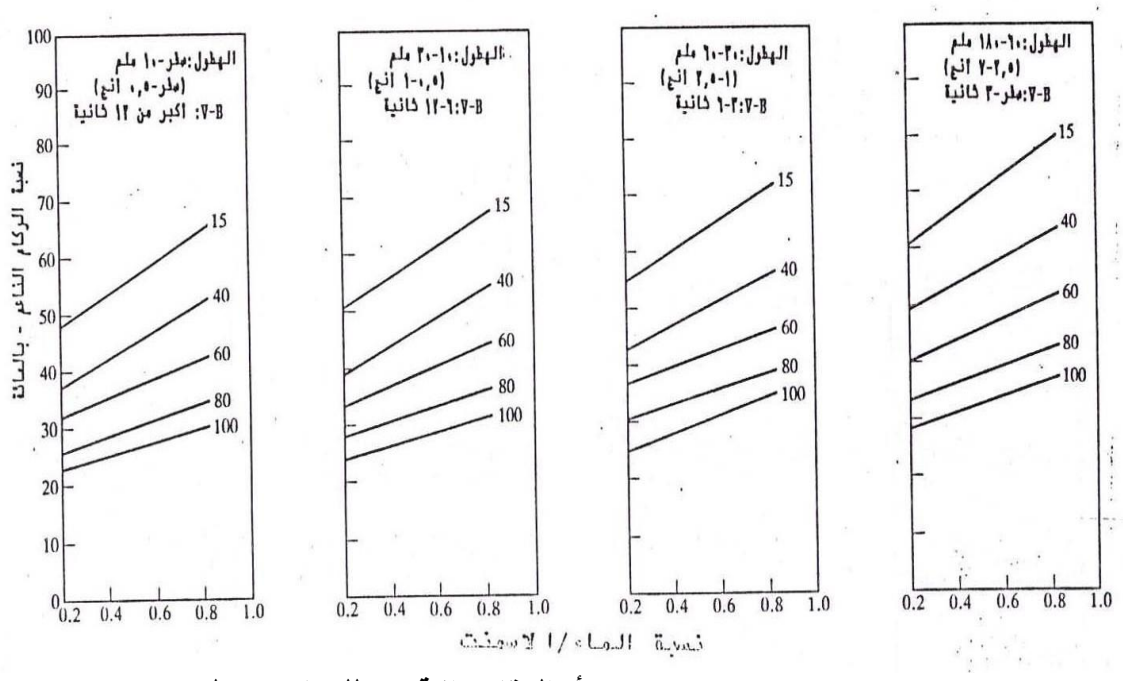
5- تقدير محتوى الركام الناعم والخشن:

يتم إيجاد نسبة الركام الناعم من الشكل رقم 5 بعد معرفة نسبة الماء/الإسمنت، مقدار الهطول، المقاس الأقصى للركام ونسبة المواد الناعمة المارة من غربال 600 مايكرون. يمكن احتساب وزن الركام الناعم (مشبع وجاف السطح) من المعادلة التالية: -

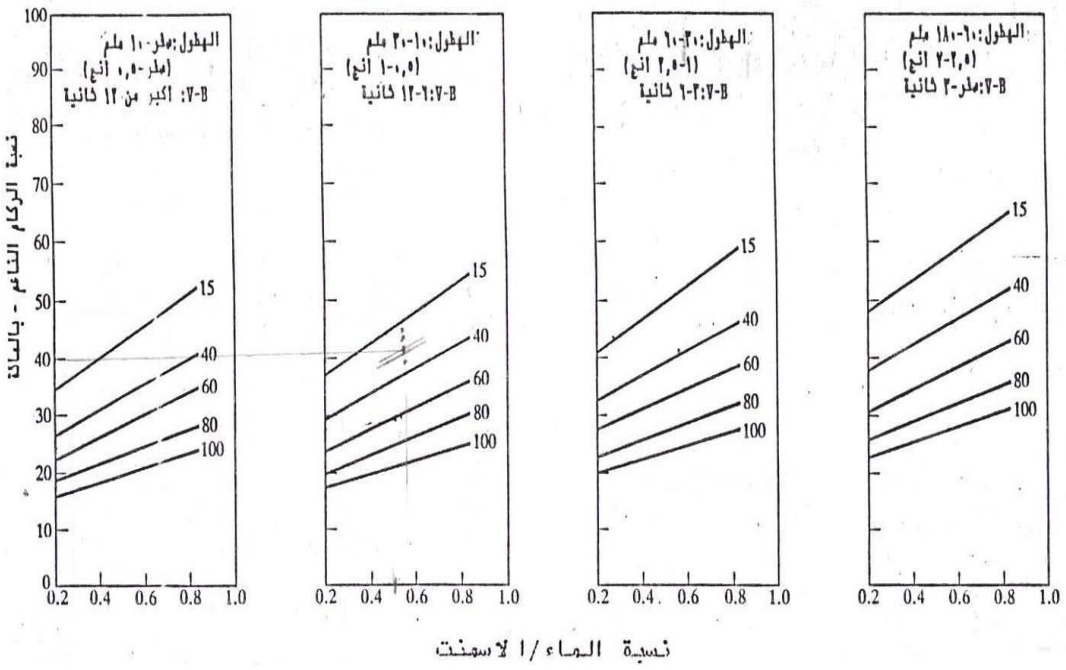
وزن الركام الناعم (مشبع وجاف السطح) = نسبة الركام الناعم * محتوى الركام الكلي
(kg/m^3)

إذن:

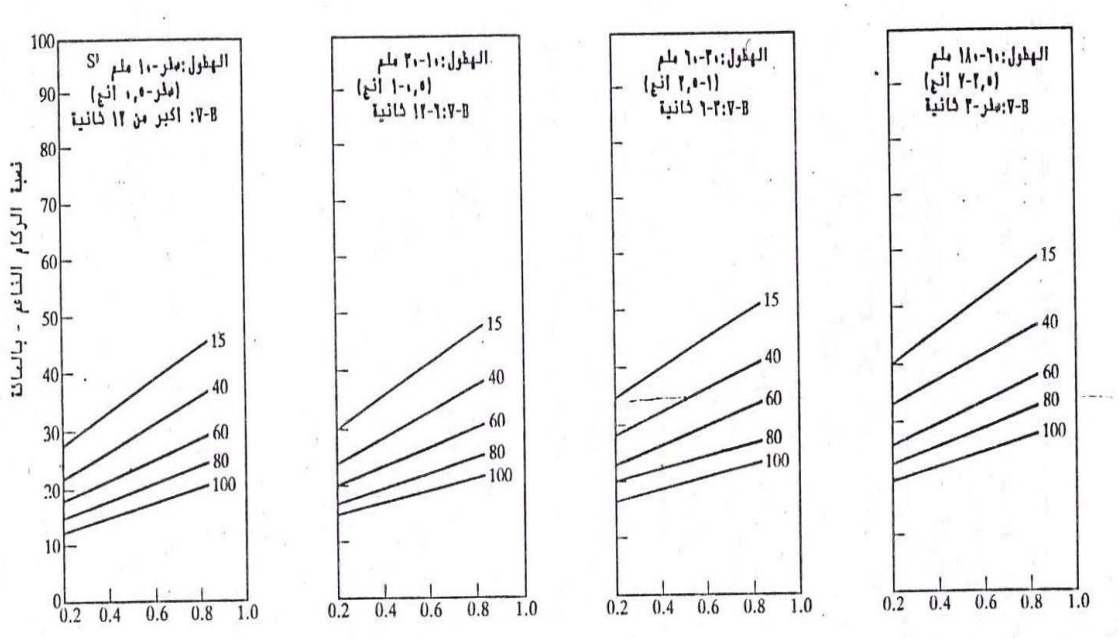
وزن الركام الخشن (مشبع وجاف السطح) = محتوى الركام الكلي - وزن الركام الناعم
(kg/m^3)



(أ) المقاس الاقصى للركام 10 ملم



(ب) المقاس الاقصى للركام 20 ملم



(ج) المقاس الاقصى للركام 40 ملم

شكل (5): النسب الئوية لمحتوى الركام الناعم

6- تعديل الأوزان حسب المحتوى المائي للركام:

يجب تعديل أوزان كل من الماء، الركام الناعم والركام الخشن وحسب حالة الركام بنوعيه حديث إن هناك أربعة حالات للركام وهي ركام جاف كليا، ركام جاف جزئيا، ركام مشبع وجاف السطح وركام رطب.

ملاحظة:

إذا تم استخدام مضافات ملدنة (مقللة للماء) مع الخرسانة يجب تعديل وزن ماء الخلط وحسب المعادلة التالية: -

وزن ماء الخلط الجديد = وزن ماء الخلط الأولي – وزن الماء المقلل (حسب تأثير (kg/m^3) الملدن المستعمل)

وزن الملدن المضاف = نسبة الملدن * وزن الاسمنت (kg/m^3)

7-تحويل أوزان مكونات الخرسانة إلى نسب:

من المفضل تحويل أوزان مكونات الخرسانة إلى نسب مع بيان نوعية النسب هل هي وزنية ام حجمية مع ذكر نسبة الماء /الاسمنت.

ملاحظة :

إن الأوزان المحسوبة في أعلاه لمكونات الخرسانة هي لمتر مكعب واحد من الخرسانة. وإذا أريد إنتاج أحجام أخرى من الخرسانة فيتم احتساب الأوزان من خلال حاصل ضرب أوزان مكونات الخرسانة لمتر مكعب واحد مع الحجوم المطلوب إنتاجها من الخرسانة.

"مسائل تطبيقية لتصميم الخلطات الاعتيادية"
أمثلة محلولة بطريقة التصميم الامريكية

مثال رقم 1:

صمم خلطة خرسانية مستخدما الطريقة الأمريكية لتحضير متر مكعب واحد من الخرسانة, المطلوب تصميمها بحيث تفي بالمتطلبات التالية: مقاومة الانضغاط الموصوفة والمعينة للخرسانة 25 نيوتن/ملم^2 بعمر 28 يوم, نوع الخرسانة اعتيادية,مقدار الهطول 100- 80 ملم, المقاس الأقصى للركام 20 ملم,الحد الأعلى لنسبة الماء /الاسمنت المسموح به 0.5, الكثافة الجافة المرصوصة للركام الخشن 1550 كغم/ م^3 ,الحد الأدنى لمحتوى الاسمنت 290 كغم/ م^3 المسموح به, معامل النعومة للركام الناعم 3.0, حالة الركام بنوعيه جاف كليا, نسبة الامتصاص الكلي للركام الناعم 1%, نسبة الامتصاص الكلي للركام الخشن % 0.5.

الجواب:

1- اختيار مقدار الهطول:
مقدار الهطول محدد من خلال السؤال = 100- 80 ملم

2- المقاس الاقصى:
المقاس الاقصى للركام محدد من خلال السؤال = 20 ملم

3- كمية ماء ومحتوى الهواء:
من جدول رقم (2), كمية ماء الخلط = 200 كغم/م^3, ومحتوى الهواء = 2%

4- اختيار نسبة الماء/الاسمنت:
من جدول رقم (3), نسبة الماء/الاسمنت (w/c) = 0.5
(تقارن هذه النسبة 0.5 مع حدود المواصفات 0.5 وتؤخذ القيمة الدنيا, بما انها متساوية فتؤخذ نفسها)

5- احتساب كمية الاسمنت:
من المعادلة (w/c) = 0.5 نجد كمية الاسمنت بعد معرفة كمية الماء من خطوة رقم (3)

$$\frac{W}{C} = 0.5$$

$$C = \frac{200}{0.5}$$

الاسمنت = C = 400 kg/m^3

(تقارن كمية الاسمنت هذه 400 kg/m^3 مع حدود المواصفات 290 kg/m^3 وتؤخذ القيمة العليا, وهي 400 كغم/م^3)

6 - تقدير محتوى الركام الخشن:
من جدول رقم (9), نحدد حجم الركام الخشن وهو = 0.6
كثافة الركام الخشن* حجم الركام الخشن = وزن الركام الخشن

وزن الركام الخشن =0.6 *1550= 930 kg/m^3

7- **تقدير محتوى الركام الناعم:**

من جدول رقم (10) نحدد كثافة الخرسانة الطرية وهي = 2355 كغم/م^3

(وزن الركام الخشن الجاف + وزن الماء + وزن الاسمنت) - وزن الخرسانة = وزن الركام الناعم الجاف كليا

وزن الركام الناعم = 2355 - (400+200+930)

وزن الركام الناعم = 825 kg/m^3

8- **تعديلات الأوزان حسب حالة الركام بنوعيه:**

بما أن الركام جاف كليا بنوعيه, لذلك لايحتاج إلى تعديل أوزان, ولكن يجب تعديل وزن الماء بقدر امتصاص الركام بنوعيه للتعويض عن الماء المفقود بالامتصاص.

وزن الماء الممتص من خلال الركام الناعم = نسبة امتصاص الركام الناعم* وزن الركام الناعم

= (1/100) * 825 = 8.25 كغم/م^3

وزن الماء الممتص من خلال الركام الخشن = نسبة امتصاص الركام الخشن * وزن الركام الناعم

= (0.5/100) * 930 = 4.65 كغم/م^3

إذن وزن الماء الجديد = 200 + 8.25 + 4.65 = 212.9 كغم/م^3

9- **تحويل الأوزان الى نسب وزنية:**

الركام الخشن : الركام الناعم : الاسمنت

400 : 825 : 930

1 : 2.06 : 2.32

مع

$$W/c = \frac{212.9}{400} = 0.532$$

أمثلة محلولة بطريقة التصميم البريطانية

مثال رقم 1 :

صمم خلطة خرسانية مستخدما الطريقة البريطانية لتحضير متر مكعب واحد من الخرسانة, المطلوب تصميمها بحيث تفي بالمتطلبات التالية: مقاومة الانضغاط المعينة والموصوفة للخرسانة 15نيوتن/ملم^2 بعمر 28 يوم, نوع الخرسانة اعتيادية,نسبة الفشل 5%, نوع الاسمنت-الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي, عدد الفحوصات المتوفرة اقل من 40 نتيجة, مقدار الهطول 20 ملم, المقاس الأقصى للركام 20 ملم, الحد الأعلى لنسبة الماء /الاسمنت المسموح به 0.5, نوع الركام الناعم والخشن غير مكسر, الكثافة النسبية للركام 2.5, الكثافة الجافة المرصوصة للركام الخشن 1600 كغم/ م^3 ,الحد الأدنى لمحتوى الاسمنت 280 كغم/ م^3 المسموح به, نسبة المواد الناعمة المارة من غربال 600 مايكرون % 30 , معامل النعومة للركام الناعم 2.6, نسبة الامتصاص الكلي للركام الناعم 0.7%, نسبة الامتصاص الكلي للركام الخشن % 0.5 , حالة الركام بنوعيه مشبع وجاف السطح.

الجواب:

1- احتساب نسبة الماء/الاسمنت:

أ- احتساب معدل القيمة المستهدفة للمقاومة:

$$fm = fc + M$$
$$= fc + (K*S)$$
$$= 15 + (1.64 * 8)$$
$$= 28.120\ N/mm^2\ (MPa)$$

(استخرجت قيمة K من شكل رقم 1 بعد معرفة نسبة الفشل)
(استخرجت قيمة S من شكل رقم 2 بعد معرفة المقاومة المعينة والموصوفة وعدد الفحوصات المتوفرة)

ب- الحصول على مقاومة الخرسانة المصنوعة بنسبة ماء طليق/اسمنت مساوية الى 0.5 :
من جدول رقم 1 فان الخرسانة المصنوعة بنسبة ماء طليق/اسمنت مساوية الى 0.5 هي 43 نيوتن/ملم^2 (MPa).

جـ- ايجاد نسبة الماء/الاسمنت:
نرسم منحني جديد موازي للمنحنيات السابقة على شكل رقم 3 بعد ايجاد احداثيات النقطة (0.5 و43).
ثم نسقط المقاومة المستهدفة المحسوبة من (أ) على الشكل رقم 3 ثم نجد نسبة الماء/الاسمنت المناظرة لها بعد تسقيطها على المنحني الذي رسمناه.
اذن نسبة الماء/الاسمنت المطلوبة = 0.67

[تقارن هذه النسبة 0.67 مع حدود المواصفات ونأخذ النسبة الأقل وهي w/c = 0.5]

2 – تقدير محتوى الماء:
من جدول رقم ٢ يتم ايجاد وزن الماء الطليق وهو مساويا الى 160 Kg/m^3 .

3 – احتساب محتوى الاسمنت:
يتم احتساب محتوى الاسمنت من المعادلة
نسبة الماء/الاسمنت = وزن الماء/وزن الاسمنت

$w/c = 0.5, 160/c = 0.5, \quad C = 160/0.5 = 320\ Kg/m^3$

[تقارن كمية الاسمنت هذه $320\ Kg/m^3$ مع حدود المواصفات ونأخذ الكمية الاعلى وهي $320\ Kg/m^3$]

4 – <u>تقدير محتوى الركام الكلي:</u>

من شكل رقم ٤ يتم استخراج كثافة الخرسانة الطرية وهي = $2325\ Kg/m^3$

(W+C)- كثافة الخرسانة الطرية = وزن الركام الكلي (مشبع وجاف السطح)
= 2325 - 320 - 160
= $1845\ Kg/m^3$

5 – <u>احتساب وزن الركام الناعم والخشن:</u>

من شكل رقم 5 يتم استخراج نسبة الركام الناعم وهي = 40 %

وزن الركام الكلي * نسبة الركام الناعم = وزن الركام الناعم (مشبع وجاف السطح)
= 40/100 * 1845
= $738\ Kg/m^3$
وزن الركام الناعم - وزن الركام الكلي = وزن الركام الخشن (مشبع وجاف السطح)
= 1845 - 738
= $1107\ Kg/m^3$

6 - <u>تعديل الأوزان حسب المحتوى المائى للركام:</u>

بما ان الركام بنوعيه مشبع وجاف السطح لذالك لايحتاج الى تعديل في وزنه وكذالك وزن الماء لايحتاج الى تعديل.

7- <u>تحويل الأوزان الى نسب:</u>

تقسم اوزان كل من الاسمنت والركام الناعم والركام الخشن على وزن الاسمنت
320/320 : 738/320 : 1107/320
1 : 2.306 : 3.459
مع
W/C = 160/320 = 0.5

"مسائل تطبيقية لتصميم الخلطات الحاوية على مواد مضافة"

أمثلة محلولة بطريقة التصميم الامريكية

مثال رقم 1:

صمم خلطة خرسانية مستخدما الطريقة الأمريكية لتحضير متر مكعب واحد من الخرسانة, المطلوب تصميمها بحيث تفي بالمتطلبات التالية: مقاومة الانضغاط الموصوفة والمعينة للخرسانة 25 نيوتن/ملم^2 بعمر 28 يوم, نوع الخرسانة اعتيادية,مقدار الهطول 100- 80 ملم, المقاس الأقصى للركام 20 ملم,الحد الأعلى لنسبة الماء /الاسمنت المسموح به 0.5, الكثافة الجافة المرصوصة للركام الخشن 1550 كغم/ م^3 ,الحد الأدنى لمحتوى الاسمنت 290 كغم/ م^3 المسموح به, معامل النعومة للركام الناعم 3.0, نسبة الملدن الفائق 2% من وزن الاسمنت ومسببا نقصان % 25 في كمية الماء, نسبة غبار السيليكا % 12 من وزن الاسمنت, حالة الركام بنوعيه جاف كليا, نسبة الامتصاص الكلي للركام الناعم 1% , نسبة الامتصاص الكلي للركام الخشن 0.5%.

الجواب:

1- اختيار مقدار الهطول:
مقدار الهطول محدد من خلال السؤال = 100- 80 ملم

2- المقاس الاقصى:
المقاس الاقصى للركام محدد من خلال السؤال = 20 ملم

3- كمية ماء ومحتوى الهواء:
من جدول رقم (2), كمية ماء الخلط = 200 كغم/م^3, ومحتوى الهواء = 2%

4- اختيار نسبة الماء/الاسمنت:
من جدول رقم (3), نسبة الماء/الاسمنت (w/c) = 0.5
(تقارن هذه النسبة 0.5 مع حدود المواصفات 0.5 وتؤخذ القيمة الدنيا, بما انها متساوية فتؤخذ نفسها)

5- احتساب كمية الاسمنت:
من المعادلة (w/c) = 0.5 نجد كمية الاسمنت بعد معرفة كمية الماء من خطوة رقم (3)

$$\frac{W}{C} = 0.5$$

$$C = \frac{200}{0.5}$$

الاسمنت = C = 400 kg/m^3
(تقارن كمية الاسمنت هذه 400 kg/m^3 مع حدود المواصفات 290 kg/m^3 وتؤخذ القيمة العليا, وهي 400 كغم/م^3)

6 - تقدير محتوى الركام الخشن:
من جدول رقم (9), نحدد حجم الركام الخشن وهو = 0.6
كثافة الركام الخشن* حجم الركام الخشن = وزن الركام الخشن
وزن الركام الخشن = 0.6 *1550 = 930 kg/m^3

7- تقدير محتوى الركام الناعم:

من جدول رقم (10) نحدد كثافة الخرسانة الطرية وهي = 2355 كغم/م^3

(وزن الركام الخشن الجاف + وزن الماء + وزن الاسمنت) - وزن الخرسانة = وزن الركام الناعم الجاف كليا

وزن الركام الناعم = 2355- (400+200+930)

وزن الركام الناعم = 825 kg/m^3

8- تعديلات الأوزان حسب حالة الركام بنوعيه:

بما أن الركام جاف كليا بنوعيه، لذلك لايحتاج إلى تعديل أوزان، ولكن يجب تعديل وزن الماء بقدر امتصاص الركام بنوعيه للتعويض عن الماء المفقود بالامتصاص.

وزن الماء الممتص من خلال الركام الناعم = وزن الركام الناعم* نسبة امتصاص الركام الناعم

= (1/100) * 825 = 8.25 kg/m^3

وزن الماء الممتص من خلال الركام الخشن = وزن الركام الناعم* نسبة امتصاص الركام الخشن

= (0.5/100) * 930 = 4.65 kg/m^3

إذن وزن الماء الجديد = 200 + 8.25 + 4.65 = 212.9 كغم/م^3

9- تحويل الأوزان الى نسب وزنية:

الركام الخشن:الركام الناعم:الاسمنت

400 : 825 : 930

1 : 2.06 : 2.32

وزن الاسمنت * نسبة غبار السيليكا = وزن غبار السيليكا

= 12 / 100 * 400

= 48 kg/m^3

وزن غبار السيليكا- وزن الاسمنت = وزن الاسمنت الجديد

= 400 - 48

= 352 kg/m^3

وزن الاسمنت * نسبة الملدن الفائق = وزن الملدن الفائق

= 2 / 100 * 352

= 7.04 kg/m^3

وزن الماء المقلل - وزن الماء = وزن الماء الجديد

= 212.9 - (25/ 100 * 212.9)

= 159.675 kg/m^3

مع W/b = 159.675/400 = 0.399

ملاحظة: اوزان الركام الناعم والخشن لاتتغير

أمثلة محلولة بطريقة التصميم البريطانية

مثال رقم 1 :

صمم خلطة خرسانية مستخدما الطريقة الأمريكية لتحضير متر مكعب واحد من الخرسانة, المطلوب تصميمها بحيث تفي بالمتطلبات التالية: مقاومة الانضغاط المعينة والموصوفة للخرسانة 15نيوتن/ملم^2 بعمر 28 يوم, نوع الخرسانة اعتيادية,نسبة الفشل 5%, نوع الاسمنت-الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي, عدد الفحوصات المتوفرة اقل من 40 نتيجة, مقدار الهطول 20 ملم, المقاس الأقصى للركام 20 ملم, الحد الأعلى لنسبة الماء /الاسمنت المسموح به 0.5., نوع الركام الناعم والخشن غير مكسر, الكثافة النسبية للركام 2.5, الكثافة الجافة المرصوصة للركام الخشن 1600 كغم/ م^3 ,الحد الأدنى لمحتوى الاسمنت 280 كغم/ م^3 المسموح به, نسبة المواد الناعمة المارة من غربال 600 مايكرون % 30 , معامل النعومة للركام الناعم 2.6, نسبة الملدن الفائق 2% من وزن الاسمنت ومسببا نقصان 25% في كمية الماء, نسبة غبار السيليكا 12% من وزن الاسمنت, نسبة الامتصاص الكلي للركام الناعم 0.7%, نسبة الامتصاص الكلي للركام الخشن % 0.5 , حالة الركام بنوعيه مشبع وجاف السطح.

الجواب:

1- احتساب نسبة الماء/الاسمنت:

أ- احتساب معدل القيمة المستهدفة للمقاومة:

$$fm = fc + M$$
$$= fc + (K*S)$$
$$= 15 + (1.64 * 8)$$
$$= 28.120\ N/mm^2\ (MPa)$$

(استخرجت قيمة K من شكل رقم 1 بعد معرفة نسبة الفشل)
(استخرجت قيمة S من شكل رقم 2 بعد معرفة المقاومة المعينة والموصوفة وعدد الفحوصات المتوفرة)

ب- الحصول على مقاومة الخرسانة المصنوعة بنسبة ماء طليق/اسمنت مساوية الى 0.5 :
من جدول رقم 1 فان الخرسانة المصنوعة بنسبة ماء طليق/اسمنت مساوية الى 0.5 هي 43 نيوتن/ملم^2 (MPa).

جـ- ايجاد نسبة الماء/الاسمنت:
نرسم منحني جديد موازي للمنحنيات السابقة على شكل رقم 3 بعد ايجاد احداثيات النقطة (0.5 و43).
ثم نسقط المقاومة المستهدفة المحسوبة من (أ) على الشكل رقم 3 ثم نجد نسبة الماء/الاسمنت المناظرة لها بعد تسقيطها على المنحني الذي رسمناه.
اذن نسبة الماء/الاسمنت المطلوبة = 0.67

[تقارن هذه النسبة 0.67 مع حدود المواصفات ونأخذ النسبة الأقل وهي w/c = 0.5]

2 – تقدير محتوى الماء:
من جدول رقم 2 يتم ايجاد وزن الماء الطليق وهو مساويا الى $160\ Kg/m^3$.

3 – احتساب محتوى الاسمنت:

يتم احتساب محتوى الاسمنت من المعادلة

نسبة الماء/الاسمنت = وزن الماء/وزن الاسمنت

$w/c = 0.5, 160/c = 0.5, \quad C = 160/0.5 = 320\ Kg/m^3$

[تقارن كمية الاسمنت هذه $320\ Kg/m^3$ مع حدود المواصفات ونأخذ الكمية الاعلى وهي Kg/m^3 320]

4 – تقدير محتوى الركام الكلي:

من شكل رقم 4 يتم استخراج كثافة الخرسانة الطرية وهي = $2325\ Kg/m^3$

(W+C)- كثافة الخرسانة الطرية = وزن الركام الكلي (مشبع وجاف السطح)

= 2325 - 320 - 160

= $1845\ Kg/m^3$

5 – احتساب وزن الركام الناعم والخشن:

من شكل رقم 5 يتم استخراج نسبة الركام الناعم وهي = 40 %

وزن الركام الكلي * نسبة الركام الناعم = وزن الركام الناعم (مشبع وجاف السطح)

= 40/100 * 1845

= $738\ Kg/m^3$

وزن الركام الناعم - وزن الركام الكلي = وزن الركام الخشن (مشبع وجاف السطح)

= 1845 - 738

= $1107\ Kg/m^3$

6 - تعديل الأوزان حسب المحتوى المائي للركام:

بما ان الركام بنوعيه مشبع وجاف السطح لذالك لايحتاج الى تعديل في وزنه وكذالك وزن الماء لايحتاج الى تعديل.

7- تحويل الأوزان الى نسب:

تقسم اوزان كل من الاسمنت والركام الناعم والركام الخشن على وزن الاسمنت

320/320 : 738/320 : 1107/320

1 : 2.306 : 3.459

وزن الاسمنت * نسبة غبار السيليكا = وزن غبار السيليكا

= 12 / 100 * 320

= $38.400\ kg/m^3$

وزن غبار السيليكا- وزن الاسمنت = وزن الاسمنت الجديد

= 320 - 38.4

= $281.6\ kg/m^3$

وزن الاسمنت * نسبة الملدن الفائق = وزن الملدن الفائق

= 2 / 100 * 281.6

= $5.632\ kg/m^3$

وزن الماء المقلل - وزن الماء = وزن الماء الجديد

$$= 160 - (25/100 * 160)$$
$$= 120\ kg/m^3$$

مع

$$W/b = 120/320 = 0.375$$

ملاحظة: اوزان الركام الناعم والخشن لاتتغير

الفحوصات غير الاتلافية للخرسانة
(NON-DESTRUCTIVE TESTS)

الفحوصات الغير اتلافية للخرسانة:

وهي الاختبارات التي تجري على منتجات او منشآت خرسانية اكتلمت ويلزم عدم اتلاف أي جزء منها، وهده الاختبارات ذات فائدة قصوى للمهندس الدي يقوم باستلام الاعمال الهندسية وفحصها.

أهم تطبيقات الاختبارات غير المتلفة:

1- اختبار مقاومة الانضغاط للخرسانة المتصلبة.
2- اختبار صلادة السطح.
3- تحديد اماكن حديد التسليح.
4- كشف الشروخ الداخلية وتحديد اماكنها واتساعها.
5- تعيين محتوى الرطوبة.
6- تعيين الكثافة.
7- قياس معايير المرونة للخرسانة.

وتعتبر اختبارات مقاومة الانضغاط للخرسانة اهم الاختبارات التي تساعد المهندس الانشائي في كتابة تقرير هندسي عن حالة مبنى قائم.

اسباب اللجوء لهذه الاختبارات:

1- عدم اجراء اختبارات مقاومة الانضغاط للخرسانة.
2- عند وجود مشكلة بالمنشأ مثل ظهور شروخ وتصدعات.
3- عدم التزام المقاول ببعض التعليمات مثل فك الشدات المبكر والصب دون اشراف هندسي.
4- عدم قيام المقاول باتمام اعمال المعالجة للخرسانة.
5- عند الشك في نوع الاسمنت المستخدم.
6- ورود نتائج اختبارات مقاومة الانضغاط غير مطابقة للمقاومة المطلوبة وقد يكون ذلك نتيجة ضعف الخرسانة او نتيجة اسباب اخرى مثل:
- طريقة اخذ المكعبات الخرسانية.
- طريقة وضع المكعب في الماكنة ومعدل توقيع الحمل على العينة.
- سقوط المكعب اثناء المناولة.
- فك المكعبات قبل مرور 24 ساعة.
- كسر المكعبات قبل مرور المدة المطلوبة (7 أو 28 يوم).
- ترك المكعبات دون معالجة حتى تاريخ الاختبار.
- عدم تجانس خرسانة المكعب (أثناء أخذها).
- تكسير احرف المكعب عند فك القوالب نتيجة عدم استخدام مادة عازلة.

بعض انواع الفحوصات غير الاتلافية:

1- فحص سرعة الامواج فوق السمعية: (طريقة النبضات):

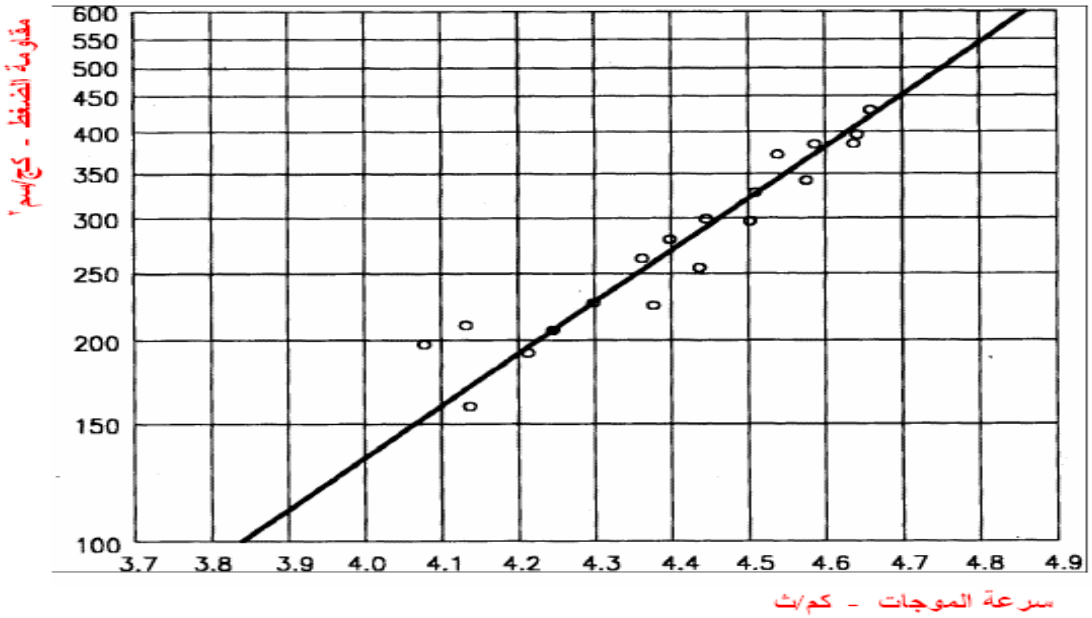
يولد الجهاز المعني نبضات اهتزازية بتردد فوق السمعي تنتقل بمحول طاقة كهربائي صوتي مثبت على سطح الخرسانة المراد فحصها. بعد ان تمر الهزات في الخرسانة تستلم وتحول الى شارة كهربائية بمعدل اخر للطاقة تغذي هذه الاشارة من خلال مضخم لها الى مكثاف تذبذبات يعمل بالاشعة الكاثودية، شكل رقم (1). اما الوقت اللازم للنبضة للانتقال في الخرسانة فيقاس بجهاز توقيت كهربائى بدقة في حدود 0.4 مايكروثانية , ومن معرفة طول المسار للنبضة في الخرسانة يمكن ايجاد سرعة هذه النبضات من خلال هذه المعادلة :

سرعة النبضات = المسافة (طول المسار) / الوقت

شكل (1): جهاز الموجات فوق الصوتية

وبعد معرفة سرعة النبضات يمكن معرفة مقاومة الانضغاط للخرسانة من خلال العلاقة بين سرعة النبضات ومقاومة الانضغاط (شكل رقم 2).

ان الاستعمال الريئسي لهذه الطريقة يكون للسيطرة النوعية لمثل هذه الخرسانة حيث يمكن الاستدلال على وجود ضعف في درجة الرص او تغير في نسبة الماء /الاسمنت لايمكن استعمال هذه الطريقة كموشر عام لمقاومة الانضغاط للخرسانة لان نوعية الركام الخشن ومحتواه يؤثران بشكل كبير على العلاقة بين سرعة النبضات والمقاومة.



شكل (2): العلاقة بين سرعة الموجات ومقاومة الانضغاط

طريقة اجراء الاختبار:

1- يتطلب اجراء هذا الاختبار كفاءة عالية.
2- استخدام اجهزة لانتاج نبضات مناسبة مع المادة.
3- يتم ضبط الجهاز مع جزء المعايرة المرفق مع الجهاز قبل بدء الاختبار على العينة.
4- يتم قياس المسافة التي تسيرها النبضات Path Length بدقة (أي طول السير).
5- يوضع المرسل Transmitter والمستقبل Receiver على العينة وان يكون الاتصال تام بين سطحي المرسل والمستقبل وسطح العينة (يستخدم لهذا الغرض الشحم او عجينة الجلسرين او الصابون السائل).
6- عند وضع المرسل والمستقبل على العينة يستمر هذا الوضع حتى تثبت القراءة واذا تارجحت النتائج بين قرائتين يؤخذ المتوسط.
7- يكون الرقم معبرا عن الوقت T لسريان النبضات خلال الجزء المختبر.
8- تكون سرعة النبضات (V) كالاتي:

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

Where:

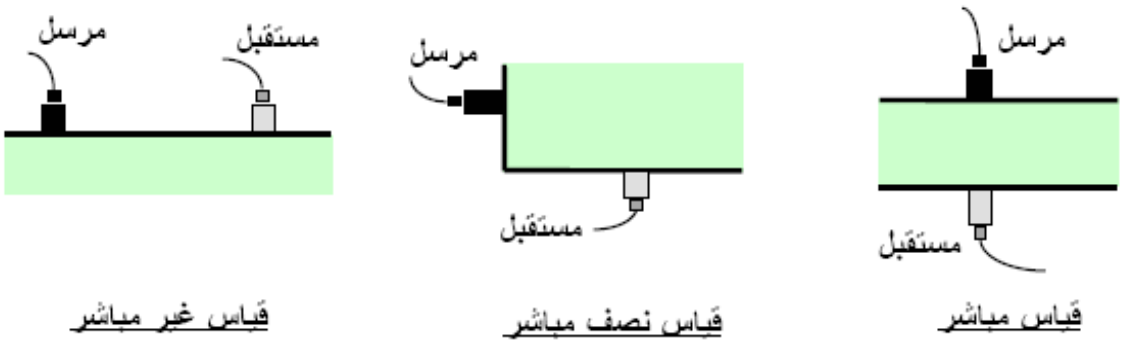
L = Length (Km) طول المسار المقاس
T = Transit Time (sec) زمن الانتقال الموجة

9- يستخدم منحني المعايرة الخاص شكل (2) لايجاد مقاومة ضغط المكعب المكافيء. وقد وضع هذا المنحني على اساس اختبار مجموعة كبيرة من العينات ذات المقاومة المختلفة وتم قياس سرعة النبضات في كل حالة. دقة النتائج تتراوح بين ± 20% من القيمة الفعلية لمقاومة الضغط.

طرق وضع المرسل والمستقبل:

توجد ثلاث طرق لوضع المرسل والمستقبل كما بشكل (3) هي:

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



شكل (3): الاوضاع المختلفة للمرسل والمستقبل

استخدامات طريقة الموجات فوق الصوتية:

تستعمل هذه الطريقة في مجال الخرسانة لاستنتاج الاتي:

1- قيمة مقاومة الخرسانة للضغط.
2- قياس معاير المرونة للخرسانة.
3- مدى تجانس الخرسانة.
4- اكتشاف الشروخ والفجوات بالخرسانة.
5- تحديد درجة تلف الخرسانة
6- قياس عمق طبقة الخرسانة.
7- مراقبة تطور قيم مقاومة الخرسانة للضغط.

2- فحص مطرقة شمدت: (فحص الصلادة):

يسمى هذا الفص ايضا بفحص المطرقة المدورة أو مطرقة الصدم أو مقاس الصلادة النسبية. يعتمد هذا الفحص على المبدا القائل ارتداد كتلة مرنة يعتمد على صلابة السطح التي ترتطم به هذه الكتلة في جهاز هذا الفحص هناك كتلة مثبتة في نابض لها مقدار ثابت من الطاقة تنتجة نتجة تطويل النابض الى موقع ثابت ويتم ذلك بضغط الكباس على وجه أملس للخرسانة التى يجب ان تكون ثابتة بشكل جيد. عند الاطلاق ترتد الكتلة من الكباس الذي لايزل متجاس مع وجه الخرسانة، ان المسافة التى تقطعها الكتلة معبر عنها كنسبة مئوية من التحديد الاولي للنابض تسمى رقم الارتداد وتظهر هذه من حركة القطعة المنزلقة على المقياس. ان رقم الارتداد هو مقياس متغير حيث انه يعتمد على الطاقة الخزونة في اللولب وعلى مقدار الكتلة.
ان هذا الفحص حساس لاحتمال وجود ركام أو فجوات تحت الكباس مباشرة , لذلك من الضروري اخذ 10 الى 12 قراءة في المساحة المراد فحصها . ويجب ان يكون الكباس دائما عموديا على سطح الخرسانة (سواء عموديا نحو الاعلى او نحو الاسفل).

يمكن ايجاد مقاومة الانضغاط للخرسانة بعد معرفة رقم الارتداد بعد الفحص من خلال العلاقة بين مقاومة الانضغاط ورقم الارتداد (شكل رقم 5).
ل يعتبر فحص مطرقة شمدت مفيد بصفتة مقياس للتجانس وللنوعية النسبية للخرسانة في المنشا أو في تصنيع الاجزاء الخرسانية المسبقة الصب ولكن لا يقبل هذا الفحص بين الفحوصات المعتمدة.

أنواع الاجهزة:

تختلف الاجهزة من حيث قراءة رقم الارتداد الى نوعين كما في شكل (4):
أ- أجهزة تقرأ النتيجة على تدرج بجسم الجهاز.
ب- اجهزة مزودة باداة تسجيل للقراءة على شريط ورقي.

شكل (4): أ- مطرقة عادية

شكل (4): ب- مطرقة مزودة بشريط ورقي لكتابة النتائج

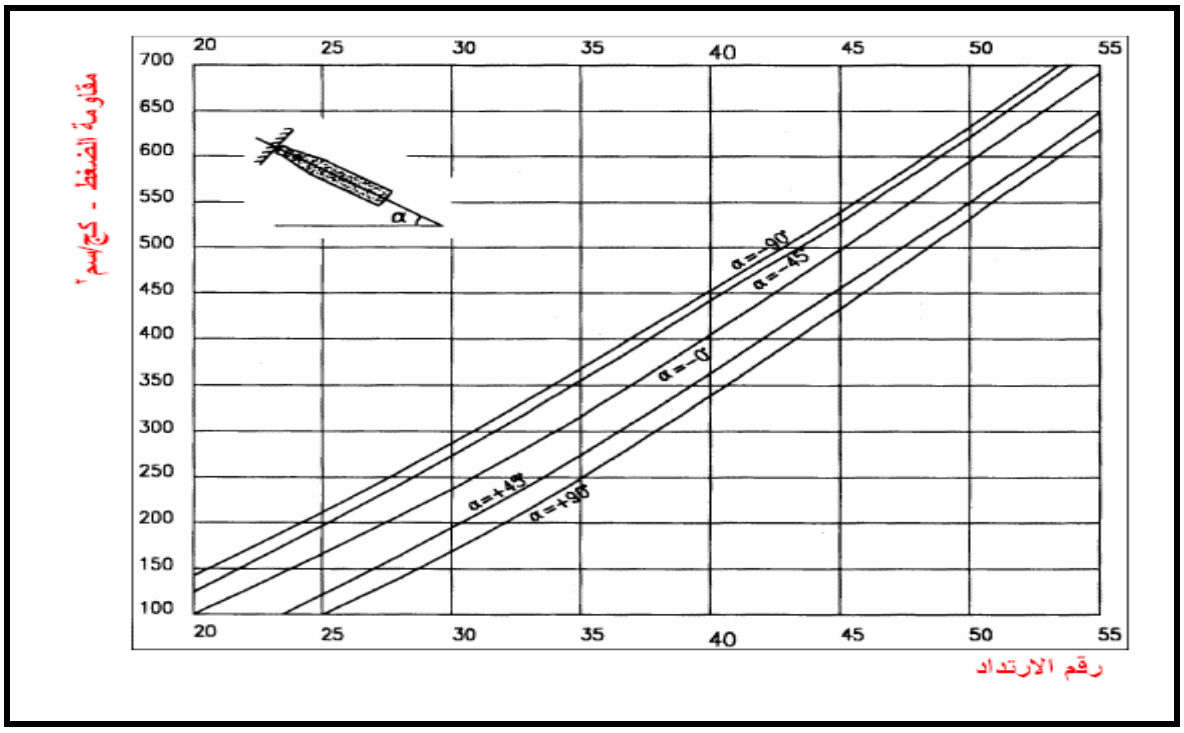
طريقة عمل الجهاز:

1- بالضغط الخفيف على زرار بالجهاز تخرج الراس المتحرك Plunger
2- يوضع الجهاز عموديا على المكان المراد اختباره ثم يضغط الجهاز فتنزلق الراس الى داخل وقبل اختفائها ينفك الشاكوش ويحدث على الراس صدمة).

3- عند حدوث الصدمة يجب ان يكون الجهاز عموديا تماما على السطح المختبر ولا يلمس الزرار ل (Button) الموجود على الجهاز.
4- عند الاصدام يرتد الشاكوش الطارق بمقدار يتناسب مع صلادة السطح المختبر محركا مؤشر يتحرك على مقياس لتعيين قيمة الارتداد.
5- ينقل الجهاز الى نقطة اخرى وتكرر العملية.
6- بعد الانتهاء من العمل يعاد الجهاز الى وضعه الاصلي بجعل الراس داخل الجهاز.

طريقة الاختبار واعداد النتائج:

1- تحدد مساحة على العضو الانشائي في حدود 30 * 30 سم.
2- يوخذ عدد من القراءات حوالي 15 قراءة موزعة داخل المساحة.
3- لاتقل المسافة بين كل قرائتين عن 2.5 سم.
4- تعمل اشارة للجزء المراد اختباره وتحدد عليه مواقع النقاط.
5- لكل نقطة على حدة يحسب متوسط رقم الارتداد وتحذف القراءات الشاذة بحيث لايزيد الفرق بين اي رقم ارتداد والمتوسط عن 5 وحدات. ويعتبر رقم الارتداد مقبول اذا كان ثلثي القراءات لاتنحرف عن المتوسط بمقدار ±2.5 وحدة.
6- يتم تحويل رقم الارتداد المتوسط الخاص بكل نقطة الى مقاومة ضغط نيوتن/مم^2 او كغم/سم^2 باستخدام جدول (1) او شكل (5).
7- توضع النتائج الخاصة بجميع النقط في جدول وتحسب مقاومة الضغط المتوسطة للخرسانة بحيث لاتزيد معامل الاختلاف لمفردات مقاومة الضغط عن 15%.



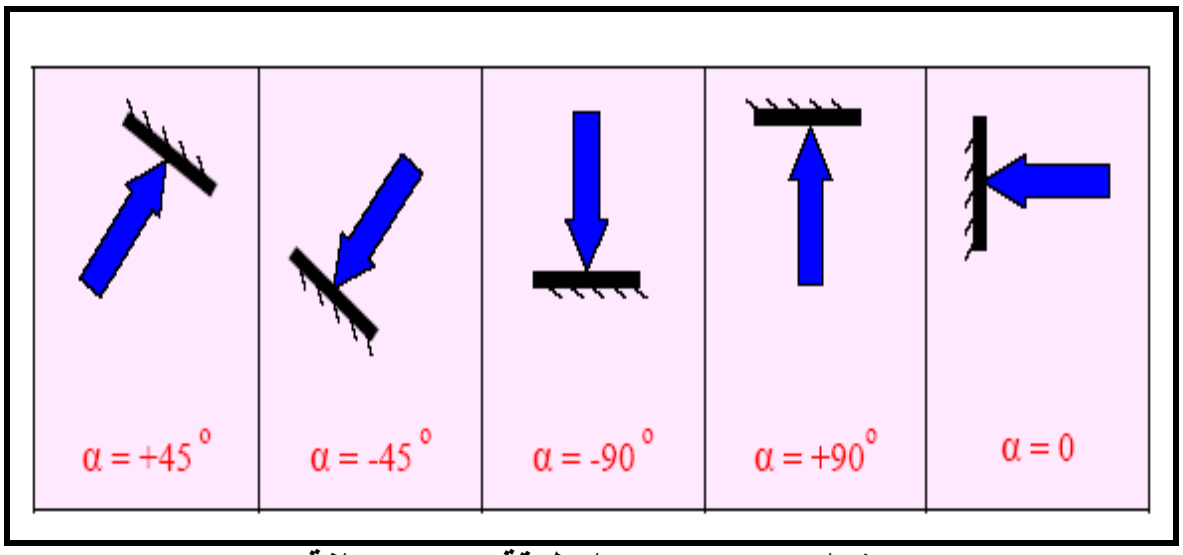
شكل (5): العلاقة بين مقاومة الانضغاط ورقم الارتداد (R)

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

جدول (1): مقاومة الانضغاط بدلالة رقم ارتداد المطرقة (R).

زاوية ميل الجهاز:

- تمت معايرة هذه الاجهزة على الوضع الافقي أي لاختبار اسطح راسية مثل الحوائط والاعمدة وبذلك اعتبرت زاوية ميل الجهاز بالنسبة للمستوى الافقي $\alpha = 0$ (شكل 6).
- يمكن استخدام الجهاز للاسطح المائلة بزاوية 45 $\alpha = \pm 45$
- او في الوضع راسيا لاختبار الاسقف $\alpha = +90$
- او في الارضيات وفي هذه الحالة $\alpha = -90$



شكل (6): استخدام المطرقة بزوايا مختلفة

تصحيح القراءات:

يتم تصحيح القراءات طبقا للمنحنيات المناسبة شكل (5) او جدول (1) في حالة الزوايا الموجبة يتم التصحيح بطرح بعض القيم من قراءة الموشر نتيجة تاثير الجاذبية الارضية اما في حالة الزوايا السالبة فيتم التصحيح باضافة بعض القيم الى قراءة المؤشر، جدول 2.

جدول (2): التصحيح الخاص بزاوية ميل مطرقة الارتداد.

رقم الإرتداد (R)	التصحيح الخاص بتأثير زاوية ميل المطرقة			
	لأعلى ↑		لأسفل ↓	
	+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	- 3.1	- 2.1	+ 1.6	+ 2.2
60	- 2.3	- 1.6	+ 1.3	+ 1.7

3- فحص الرنين :

يستعمل هذاالفحص لقياس معامل المرونة الديناميكي للخرسانة من خلال استعمال جهاز خاص. يعمل هذا الفحص على نماذج خرسانية مشابهة للتي استخدمت في ايجاد مقاومة الانثناء للخرسانة (العتبات 150* 150* 750 ملم أو العتبات 400 *100 *100 ملم).
تثبت العينة (النموذج) عند مقطعها الوسطي، وتوضع وحدة اشارة الكترو – مغناطيسية امام احد الاوجة النهائية للنموذج ويوضع لاقط مرسل امام الوجة الاخر. ويتم ادخال الاشارة بواسطة مذبذب متغير , التردد ضمن مدى 10000 هرتز. يتم استلام الاهتزاز الطوالي الممتد داخل النموذج بواسطة اللاقط، ويضخم ويقاس تذبذبه بواسطة موشر مناسب. يتم مناسب. يتم تغير تردد الاشارة لغاية الحصول على الرنين عند التردد الاساسي (اي الاوطأ) للنموذج، ان هذا يوضح بالانحراف الاقصى للموشر الموجود في الجهاز.

يتم احتساب معامل المرونة الديناميكي للخرسانة من المعادلة التالية:

$$E_d = 4 * n^2 * L^2 * \rho * 10^{-9}$$

حيث ان:

E_d = معامل المرونة الديناميكي للخرسانة (GPa- كيكا باسكال)

n = التردد (هرتز)

L = طول النموذج (ملم)

ρ = كثافة الخرسانة (كثافة النموذج)(كغم/م^3)

4- فحص باشعة كاما: (طريقة الاشعاع):

تستعمل في هذا الفحص اجهزة خاصة وذلك لتحديد اختلاف النوعية في الخرسانة , النقصى في درجة الرص أو مواقع الفجوات داخل الخرسانة

5- فحوصات اخرئ :

هناك العديد من الفحوصات الخاصة لفحص الخرسانة تتراوح بين استعمال معدات كهربائية و مغناطيسية لقياس سمك حديد التسليح (COVER)

أنواع خاصة من الخرسانة

1-الخرسانة الكتلية: (Mass Concrete)

تعرف الخرسانة الكتلية بالخرسانة ذات الحجم الكبير التي توضع بصورة عامة كخرسانة متآلفة متراصة وتصب بدون مفاصل عدا المفاصل الإنشائية وتحتوي هده الخرسانة على نسبة عالية من المجاميع الخشنة وعلى كمية واطئة من الاسمنت وتتحمل الإثقال بفضل كتلتها.

استعمالات الخرسانة الكتلية:

1- تستعمل في أنشاء السدود الكتلية.
2- تستعمل في أنشاء السدود القوسية.
3- تستعمل في أنشاء الأسس الكتلية الضخمة.
4- تستعمل في المنشات الضخمة كمنشات الطاقة ومحطات الضخ.
5- تستعمل في أنشاء دعامات الجسور.

الخرسانة الكتلية لاتختلف عن الأنواع الأخرى من الخرسانة إلا في استعمال مجاميع ذات مقاسات كبيرة (أي ركام ذو مقاس اقصى كبير). فباسعمال مجاميع بمقاسات كبير ومتدرجة يسمح باتقليل من كمية الرمل والماء والاسمنت. ففي هذا النوع من الخرسانة وبسب وجود كمية قليلة من الاسمنت تقل الحرارة واختلافها في المنشأ. يستعمل الاسمنت المنخفض الحرارة او الاسمنت المعدل او الاسمنت البوزولاني في انتاج هذا النوع من الخرسانة لغرض التقليل من حرارة الاماهة. وكذلك عند صب هذا النوع من الخرسانة يجب ان يتم تحديد مقدار الارتفاع في درجات الحرارة وبالسيطرة على سمك الصب وجدولة الصب وكذلك اسلاك التبريد وكذلك بالامكان استعمال الماء البارد اوالثلج لغرض السيطرة على درجات حرارة الاماهة لتجنب حدوث اجهادات شد في الكتلة يسبب الحرارة المنبعثة من عملية الاماهة وهذا يسبب بدوره تشقق في الخرسانة.
كذلك يجب ان تتوفر في المجاميع الخشنة المستعملة في الخرسانة الكتلية المتانة و الصلابة ويجب ابتعاد عن استعمال الاحجار القابلة للتفتت وكذلك الاحجار التي لها امتصاص اكثر من 3 بلمائة ويوزن نوعي اقل من 2.5 تكون غير ملائمة.

2- الخرسانة الخفيفة الوزن:

هناك ثلاثة طرق رئيسية لانتاج الخرسانة الخفيفة الوزن:-

أ- استعمال ركام مسامي خفيف الوزن و ذو وزن نوعي ظاهري قليل بدلا من الركام الاعيتادي و تعرف هذه الخرسانة بالخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن .

ب- استحداث فراغات كبيرة ضمن الكتلة الخرسانية او الملاط . يطلق على هذا النوع من الخرسانة بالخرسانة المهواة او الخرسانة الخلوية، أوالخرسانة الغازية، او الخرسانة الرغوية.

جـ- حذف الركام الناعم من الخليط ويطلق على الخرسانة المنتجة بهذه الطريقة بالخرسانة الخالية من الركام الناعم.

الفوائد من استخدام الخرسانة الخفيفة الوزن:-

1- الزيادة في العزل الحراري
2- السهولة في القطع ودق الالمساميي
3- اساس جيد لاعمال الانهاء الخارجية والداخلية
4- الخفة في المناالة، لتسهيل استخدام واحدات اكبر
5- تقليل الوزن الكلي للمنشأ
6- التخلص من خطورة الاملاح الكبريتية الموجود في المجاميع الناعمة عادة.

الركام الخفيف الوزن:

آن الخاصية الاساسية للركام الخفيف الوزن، المستعمل في انتاج الخرسانة الخفييفة الوزن هي المسامية العالية والتي تؤدي الى خفض وزنه النوعي الظاهري. وهذا الركام اما ان يكون: -

1- طبيعي: -

مثل الدايتومايت، الخفاف (زجاج بركاني منخرب يستعمل في الصقل)، النسفة (خبث المعدن المصهور، الحمم البركانية، الطفة (حجر بركاني يتجمع من متدفقات البراكين).

2- صناعي: -

أ- الركام المنتج بواسطة تسليط الحرارة لغرض التمدد مثل تمدد الطين والطين الصفحي وصخور الاردواز والصخور القارية و الزجاج البركاني الاسود والفيرمكيولايت.
ب- الركام المنتج بواسطة عملية تبريد خاصة يحدث خلالها تمدد في خبت الافران العالية.

طرق استحداث فراغات كبير ضمن الكتلية الخرسانية أوالملاط :-

1- يتم الحصول على الخرسانة الغازية بواسطة تفاعل كيمياوي يولد الغاز في الملاط الطري، وهكذا عندما يتجمد سيحتوي على عدد كبير من الفقاعات الغازية .يستخدم لهذا الغرض المسحوق الالمنيوم الناعم بنسبة 0.2% من وزن الاسمنت حيت يتفاعل هذا المسحوق مع هيدروكسيد الكالسيوم اوالقلويات ويتم تحرير غاز الهيدروجين .كذلك يستخدم الخارصين وخليط المنيوم المسحوق وكذلك فوق اوكسيد الهيدرجين للغرض نفسه.

2- تنتج الخرسانة الرغاوية باضافة عامل ارغاء (عادة نوع من البروتين المتحلل بالماء) أو الصابون الراتنجي الى الخلط.ان هذا العامل يدخل ويثبت فقاعات هوائية خلال عملية الخلط بسرعة عالية.

خواص الخرسانه الخفيفة الوزن:

1- الخرسانة الخفيفة الوزن تعطي عزلا حراريا جيدا
2- الخرسانة الخفيفة الوزن لها متانه مقبولة
3- تكون مقاومة الخرسانة الخفيفة الوزن للبري او التأكل ضعيفة.
4- تكون الخرسانة الخفيفة الوزن اكثر من الخرسانة الاعتيادية.
5- عملية خلط ونقل ووضع الخرسانة الخفيفة الوزن تحتاج الى دقه وعنايه اكثر من الخرسانه الاعتيادية.
6- تعطي فوائد الخرسانه الخفيفة الوزن على نواقصها.

استعمال الخرسانه الخفيفه الوزن:

1- تصنف الخرسانة الخفيفة الوزن وفقا للاغراض المستعمله من اجلها.
2- يجب التميز بين الخرسانة الخفيفة المستعملة للاغراض الانشائية وبين الخرسانه المستعملة في الجدران الغير الحامله للاثقال ولغرض العزل الحراري.
3- من المفضل بأن يكون الحد الادنى لمقاومه الانضغاط هو الاساس في تصنيف الخرسانه الانشائيه الخفيفة الوزن.
4- بصوره عامه تكون الخرسانه العازله ذات كثافه اقل من 800 كغم / م^3 ومقاومها تقع بين 0.7-7.0 نيوتن /ملم^2.
5- في الولايات المتحده الامريكيه يعتبر الحد الادنى لمقاومه الانضغاط لنموذج الاسطواني لخرسانه انشائيه بمقدار 17 نيوتن /ملم^2 بعمر 28 يوم, والكثافه الجافة لاتزيد عن 1840 كغم /م^3 وبصوره اعتياديه تقع بين 1800-1400نيوتن /ملم^3.

خواص الخرسانه ذات الركام الخيف الوزن:

1- ان الخرسانه ذات الركام الخيف الوزن تغطي حقلا واسعا للغايه , فبأستعمال المواد والطرق المناسبه يمكن الحصول على مديات للكثافه بين 300 - 1800كغم/م^3 ومديات المقاومه المناضره لها بين 0.3 نيوتن/ملم^2 و 40نيوتن /ملم^2.
2- لاي نوع خاص من الركام تزداد المقاومه مع الكثافه ولاكن ذلك يعتمد على نوع الركام.
3- عند استعمال نسبه عاليه من الاسمنت (650) كغم/م^3 .يمكن الحصول على مقاومه عاليه ولحد 60 نيوتن /ملم^2.
4- ان خواص الخرسانه تتأثر بتدرج ونوع الركام ومحتوى الاسمنت ونسبه الماء الى الاسمنت ودرجة الرص.
5- تكون العديد من انواع الركام الخفيف الوزن زاوي الشكل وخشن الملمس ويؤدي الى انتاج خلطات جافه وذات قابلية تشغيل واطئه.
6- معظم انواع الركام الخفي لها قابليه عالية وسريعة للامتصاص ولاكن من الممكن صد الماء من الركام بطليه بطبقة من القير او باستعمال اساليب خاصه اخرى .
7- في الخرسانه المسلحه وخفيفة الوزن يجب اخذ احتياطات مناسبه للمحافضه على حديد التسليح من الصدأ ومنها استعمال غطاء يعادل تقريبا ضعف الغطاء المستعمل له في الخرسانه الاعتياديه او تغليف حديد التسليح او اكساء مسطح الخرسانة.
8- جميع انواع الخرسانه المعموله من الركام الخفيف الوزن تبدي انتقالا للرطوبه من خلالها بدرجه اعلى من الخرسانه ذات الوزن الاعتيادي.
9- ان انكماش الجفاف لهذا النوع من الخرسانه يكون عالي اعتياديا ويمثل نسبة 40%-5 اعلى من الانكماش الذي يحصل في الخرسانه الاعتياديه.
10- الزحف في هذا النوع من الخرسانه يكون مساويا الى الزحف الذي يحصل الى الخرسانه الاعتياديه وكذالك نفس الشيء لنسبة بوسون.
11- الخرسانه الخفيفة الوزن لها معامل مرونه حوالي 1/2 - 3/4 من ذالك المناظر للخرسانه الاعتياديه والتي لها نفس المقاومه .
12- مقاومة البري لخرسانة الركام الخفيف الوزن غير جيدة, ولاكن مقاومتها للانجماد جيده عدا الحالات التي يكون فيها الركام مشبع بالماء قبل الخلط.
13- الخرسانه ذات الركام الخيف الوزن ذاتقابليه لامتصاص الصوت جيدة.
14- كذالك بأن معامل التمدد الحراري الخاص بالخرسانه ذات الركام الخيف الوزن يكون اقل من ذالك المقابل في الخرسانه الاعتياديه.

خواص الخرسانة المهواة:

1- الخرسانة المهواة قد تحتوي او لاتحتوي دعاما والنوع الاخير هو الشائع الاستعمال في الخرسانة الغير الانشائية واللازمة لاغراض العزل الحراري عندما يمكن الحصول على اعلى كثافة مساويا الى 300 $kg\backslash m^3$ وبصورة استثنائية $200\ kg\backslash m^3$.
2- الخلطات المعتادة اكثر تكون كثافتها بين $1100\text{-}500 kg\backslash m^3$.
3- ان مقاومة الخرسانة المهواة وكذلك التوصيل الحراري يتناسبان مع الكثافة.
4- تمتاز هذه الخرسانة قابلية عالية للحركة الحرارية إضافة الى انكماشها وسرعة انتقال الرطوبة المرتفعتين وممكن معالجة ذلك بمعالجتها بضغط البخار العالي.
5- بالرغم ان قابليتها لامتصاص الماء عالية وان معدل نفاذ الماء خلال هذا النوع من الخرسانة يكون قليلا لان الفجوات الكبيرة غير متصلة مع بعضها.
6- مقاومة الانجماد لهذا النوع من الخرسانة تكون عالية.
7- حديد التسليح المستعمل في هذا النوع من الخرسانة يكون معرضا للصدأ اذا كان غير معالجا.

خواص الخرسانة الخالية من الركام الناعم:

1- ان مقاومة الخرسانة الخالية من الركام الناعم تكون اقل بكثير من مقاومة الخرسانة الاعتيادية
2- ممكن استعمال هذا النوع من الخرسانة لانشاء بناية ذات عدة طوابق وفي استعمالات عديدة
3- نظرا لعدم انعزال الخرسانة الخالية من الرمل يمكن استعمالها من مسافات مرتفعة الى موضع الصب.
4- كلفة هذا النوع من الخرسانة قليلة نسبيا بسبب انخفاض محتوى الاسمنت في الخليط اذ في الخلطات الفقيرة من الممكن ان يكون محتوى الاسمنت بين $70\text{-}130\ kg\backslash m^3$من الخرسانة.
5- كثافة هذه الخرسانة تعتمد بصورة اساسية على تدرج الركام.
6- يمكن الحصول على كثافة منخفضة لهذا النوع من الخرسانة باستعمال ركام ذو مقاس واحد والمقاس المعتاد هو 19-9.5 ملم.
7- عند استعمال الركام الاعتيادي فان كثافة الخرسانة الخالية من الركام الناعم تكون بحدود $2000\text{-}1600 kg\backslash m^3$وعند استعمال ركام خفيف الوزن في هذا النوع من الخرسانة يمكن تقليل الكثافة لحد$640\ kg\backslash m^3$.
8- امكانية رص هذا النوع من الخرسانة قليلة لان الرص لفترة طويلة سوف يؤدي الى انزلاق عجينة الاسمنت متصلة عن الخليط.
9- يوصى بعدم استخدام الرص اليدوي لانه يؤدي الى الحصول على كثافة متباينة في مواقع مختلفة
10- تتراوح مقاومة الخرسانة الخالية من الركام الناعم بين14-1.4 نيوتن/ملم^2.
11- هناك حدود ضيقة لنسبة الماء/الاسمنت لنوع معين من الركام فاذا كانت هذه النسبة اعلى من النسبة المثالية فانها تعمل على انفصال عجينة الاسمنت عن حبيبات الركام واذا كانت هذه النسبة قليلة عن النسبة المثالية سوف تعمل على تقليل التصاق لعجينة الاسمنت ولايمكن الحصول على رص كامل.
12- كدليل عام فان محتوى الماء الماء في الخليط ممكن اعتباره مساويا الى $180kg/m^3$ من الخرسانة وان نسبة الماء/الاسمنت تعتمد على محتوى الاسمنت.
13- تعتبر الخلطات التي تكون فيها نسبة الاسمنت /الركام اقل من 1:10 (أي التي تحتوي على اكثر من 130 kg/m^3 من الاسمنت) تعتبر خلطات غنية بالاسمنت ولكن بعدها ولحد نسبة 20:1 (عندما يكون محتوى الاسمنت بحدود $70\ kg/m^3$) تعتبر خلطات فقيرة بالاسمنت.
14- ان الانكماش في الخرسانة الخالية من الركام الناعم اقل بكثير من الانكماش الحاصل في الخرسانة الاعتيادية وذلك لقلة عجينة الاسمنت.
15- تكون الحركة الحرارية لهذا النوع من الخرسانة تكون بحوالي 0.8-0.6 من تلك الحاصلة في الخرسانة الاعتيادية ولكن القيمة الفعلية لمعامل التمدد الحراري تعتمد على نوع الركام المستعمل.
16- تكون مقاومة هذا النوع من الخرسانة للانجماد تكون عالية بشرط ان تكون المسامات غير مشبعة.
17- الامتصاص العالي للماء يجعل استعمال الخرسانة الخالية من الركام الناعم في الاسس او في الاماكن التي تكون فيها الخرسانة في تماس مع الماء غير مناسب.
18- يجب لبخ الجدران الخارجية عند استعمال هذا النوع من الخرسانة كما انها لاتستعمل بصورة اعتيادية كخرسانة مسلحة وذلك لامكانية صدأ حديد التسليح.

استعمالات الخرسانة المهواة:

1- تستعمل الخرسانة المهواة في القواطع المستعملة لإغراض العزل الحراري بسب انخفاض توصيلها الحراري.
2- تستعمل لإغراض الصمود ضد النار لأنها تعطي مقاومة عالي للنار.
3- من الناحية الإنشائية فأن هذا النوع من الخرسانة يستعمل بصورة رئيسية بشكل مقاطع معالجة بواسطة الضغط البخاري العالي أو كأجزاء جاهزة الصنع.
4- ممكن استعمالها في تشييد الأرضية.
5- يمكن قص هذا النوع من الخرسانة وتثبيت المسامير فيها.

3- الخرسانة العالية الكثافة (الخرسانة الثقيلة):

تستعمل هذه الخرسانة بصورة اعتيادية كمادة واقية ضد الإشعاعات بأنواعها كأشعة X، أشعة كاما والنيوتروني بسبب قابليتها لامتصاص الأشعة إضافة إلى خواصها الميكانيكية ومتانتها تمتاز هذه الخرسانة الكثافة العالية تعمل هذه الخرسانة باستبدال بعض أو جميع الركام الاعتيادي بركام ذو وزن نوعي عالي جدا بصورة اعتيادية أكبر من 4 وهذا الركام قد يكون موجود طبيعيا أوقد يصنع.

أنواع الركام الثقيل:

1- الأنواع الطبيعية : مثل البارايت ،كبريتات البار يوم ،خامات الحديد.
2- الأنواع الصناعية: مثل الفولاذ ، الرصاص.

خواص الخرسانة العالية الكثافة :

1- تكون ذات كثافة عالية.
2- ذات انكماش قليل.
3- ذات معامل تمدد حراري عالي.
4- حرارة نوعية وتوصيل حراري قليل.
5- تكون الخرسانة معرضة إلى الانعزال.
6- تكون صعبة في عملية الخلط والنقل والصب.

الخرسانة الليفية

الالياف: -

هي أجزاء متقطعة ومنفصلة من مواد مختلفة تضاف الى الخرسانة لغرض تحسين خواصها الميكانيكية وخاصة مقاومتها للشد.

الهدف من اضافة الالياف :-

1- تحسين مقاومة الخرسانة للشد.
2- تحسين مقاومة الخرسانة للاحمال الصدمية.
3- زيادة تحمل الخرسانة للاجهادات الحرارية.
4- تقليل التشققات التي تحصل في الخرسانة.
5- تقليل الخاصية الهشة للخرسانة.

أنواع الالياف: -

تقسم الالياف نسبة الى:-

أ- المادة التي تصنع منها.
ب- شكل الالياف.
جـ معاير مرونة أللليف .

أ- انواع الالياف نسبة الى مادتها :-

1- الالياف الفولاذية.
2- الالياف الزجاجية.
3- أليف الكربون.
4- أليف النايلون.
5- اليف البولي بروبولين.
6-اليف الاسبست.
7- أالياف النباتية.

ب- انواع الالياف نسبة الى شكلها :-

1- أالياف الاعتيادية أو المستوية. (Plain Fiber)
2- أالياف أملتوية. (Twisted Fiber)
3- أالياف المحززة. (Deformed Fiber)
4- أالياف المجعدة. (Crimped Fiber)
5- أالياف معقوفة النهايتين. (Hook Ended Fiber)

جـ معاير مرونة أللليف :-

تقسم الالياف نسبة الى معاير مرونتها الى قسمين: -

1- ليف ذو معاير مرونة أعلى من معاير مرونة ألخرسانة وهي تمنح الخرسانة مقاومة وصلابة أعلى مثل الالياف الفولاذية والياف الكربون.
2- ليف ذو معاير مرونة أقل من معاير مرونة الخرسانة وتساعد في امتصاص الطاقة لذا تحسن مقاومة الخرسانة للاحمال الصدمية مثل الياف النايلون والبولي بروبولين.

نسبة الالياف: -
تضاف الالياف عادة بنسب تتراوح بين (1- 5) % من حجم الخرسانة أو المونة وتعتبر الالياف الفولاذية أكثر انواع الالياف استخداماً مع الخرسانة اما اكثرها استخداماً مع المونة فهي الالياف الزجاجية.
وتعتمد مقاومة خرسانة الالياف على محتوى الالياف فكلما زادت تزداد المقاومة ولكن الى حد معين حيث ان اضافة كمية كبيرة من الالياف يسبب ظاهرتي الانفصال والتكور مما تصعب عملية خلط الخرسانة وتقل مقاومتها.

معامل مظهر الليف (النسبة الباعية): -
تمتاز الالياف بخاصية مهمة توثر كثيرا على مدى تاثير اضافة الالياف على خواص الخرسانة المنتجة وهذه الخاصية هي معامل مظهر الليف وهي حاصل قسمة طول الليف على قطره ويتراوح بين (30 -- 150) للألياف الفولاذية.

مثال :-
تم استخدام الياف فولاذية بطول (30mm) وقطر (0.25mm) احسب معامل مظهر أللليف (النسبة الباعية) .

$$\text{معامل مظهر الليف (النسبة الباعية)} = \frac{\text{طول الليف}}{\text{قطر الليف}} = \frac{30}{0.25} = 120$$

الألياف الفولاذية: -
وهي اكثر الانواع شيوعاً وتكون في الغالب دائرية الشكل ويتراوح قطرها بين mm (0.25 - 0.75) وتعمل على تحسين مقاومة الانثناء والكلل للخرسانة كما تحسن مقاومتها للاجهادات الحرارية والاحمال الصدمية وتستعمل في مشاريع الطرق ومدارج المطارات وفي الجسور وفي الاقواس والصفائح السميكة.

الألياف البلاستيكية: -
وهي مناسبة لزيادة مقاومة الاحمال الصدمية وتعطي مقاومة شد عالية ونظراً لمعامل المرونة العالي لهذه الالياف فانها لاتحسن مقاومة الانثناء.

الألياف الزجاجية: -
أستعملت مؤخراً في الخرسانة ولها مقاومة شد عالية ولكن اتضح بأنها تتأثر بالخواص القاعدية للسمنت لذا تستعمل أنواع خاصة من الالياف الزجاجية المقاومة لذلك وتكون الخرسانة المصنعة منها ذات تحملية عالية.

ألياف الاسبست: -
وهي الياف معدنية وتعتبر من أفضل الانواع ويدعى ناتج خلطها مع السمنت بالسمنت الاسبستي وتكون ذات مقاومة أنثناء عالية مقارنة مع عجينة السمنت.

ألياف الكربون: -
وتمتاز بان مقاومة الشد لها تتراوح بين MPa (2112- 2815) وعند خلطها مع السمنت تزيد من مقاومة الانثناء للخرسانة .

خواص الالياف المؤثرة على مقاومة الخرسانة: -
1- نوع الليف.
2- محتوى الالياف.
3- التوزيع.
4- معامل مظهر الليف.

الخرسانة المسلحة باللالياف:

تعرف الخرسانة المسلحة باللالياف بأنها خرسانة مصنوعة من الاسمنت وتحتوي على ركام ناعم وخشن وألياف غير متصلة

أنواع ألياف:

1- **ألياف مواد طبيعية:**
مثل الاسبستوس، قنب السيول، السليلوز
2- **ألياف مصنعه:**
مثل الياف الزجاج الياف الحديد، الياف الكاربون والبوليمر.

اسباب تسليح الخرسانه بالالياف :

من المعروف بان الخرسانه المونه وعجينة السمنت من المواد الهشة او القصيفه والتي لها مقاومه شد قليلة. لذلك السبب الريش من التسليح بالالياف هو لزيادة مقاومة الشد بوسطة تاحيز نحو الشقوق ولزيادة الصلابة بوسطة نقل الاجهاد وعبر المقطع المصدع لدلك تصبح امكانية التشوه بعد الجهاد الاعظم اكبربكثير مما في حالة عدم وجود الياف التسليح.

ملاحظات هامة :

1- ان كمية اللالياف المسنخدمة صغيرة وهي تقريبا من (1 الى 5 %) من حجم الخرسانة او المونة.
2- تحدث الفائدة القصوى من اللالياف عندما تكون اللالياف بتجاه موحد و موزي للاجهاد الشد المسلط.
3- يجب ان تحقق عملية خلط الخرسانه او المونه توزيعا منتظما للالياف ويجب ان تمنع الانعزال اوتجمع الالياف وتكورها.
4- الخرسانة المسلحه بالالياف تكون عموما دات محتوى السمنت عالي ومحتوى ركام ناعم اعلى ومقاس اقصى للركام اصغر.
5 - قابلية التشغيل للخلطة الخرسانيه المسلحه بالالياف تتناقص كلما يزداد محتوى الالياف.
6- يستعمل فحص الهطول المقلوب اوالمعكوس لفحص قا بلية التشغيل للخرسانه المسلحه باللالياف لأن فحص هطول الاعتيادي لايعطي موشر جيدا.

استخدامات الاسمنت والخرسانه المسلحة بالالياف:

1- يستخدم الاسمنت المسلح بالالياف الزجاجي في الالواح والوجهات الزخرفيه المسطحه او ذات للاغرض المعماريه والتضليل
2- يستخدم الاسمنت المسلح باليافِ الاسبست لانتاج صفائح مسطحه والواح ضد النار ولانتاج الانابيب ويكون سعره ارخص.
3 - تستخدم الياف البولبروبلين لعمل الغلاف الخارجي لركائز الدق الخرسانه المسلحة التقلديه .لان الخرسانه المسلحه الحاويه على هذا النوع من اللالياف ذات معامل مرونه عالي الصدمة.
4- تستخدم كل من الياف الحديد والزجاج لعمل طبقات علويه للارصفة.
5- تستخدم الاسمنت المسلح بالالياف في انتاج القوالب الدائميه والمتكرره الاستخدام.
6- يستخدم الاسمنت المسلح في حماية وتقوية قشرة الاجزاء الخرسانية. تطبيقات في الخرسانه المسلحه بالالياف الياف.

ممكن تصنيف تطبيقات الخرسانة المسلحة بالالياف الحديدية:

1- رصف الطرق ومدرجات المطارات.
2- المنشات الهدرولكية.
3- خرسانة الألياف.
4- الخرسانه المقاومه للحرارة.
5- تطبيقات متعدده في الخرسانه المسبقة الصب.
6- تطبيقات انشائية.

الخرسانة البوليمرية:

استعمال البوليمرات فى الخرسانة (خرسانة البوليمر):

إن المركب الكيماوي المستقل الجزئيات (غير متبلمر) هو جزئية عضوية لها القابلية للأتحاد كيماويا مع جزئيات مشابهة أو مختلفة لتكون مادة ذات وزن جزيئي عال يعرف بالبوليمر (مركب مضاعف الاصل)
يتكون من العديد من المركبات الكيماوية (غير متبلمر) التي يرتبط بعضها مع بعض في تركيب يشبه السلسلة وهذه العملية تدعى بالبلمرة.

وهي بصورة عامة مواد خاملة كيماويا وله مقاومة شد وانضغاط أعلى من مقاومة الخرسانة التقليدية ولكن لها معامل مرونة أوطأ وزخما أعلى وربما تتحلل بواسطة العوامل الحرارية المؤكسدة والضوء فوق البنفسجي والكيمياويات والكائنات الحية المجهرية وبعض المحاليل العضوية.

أنواع الخرسانةالبوليمرية:

1- الخرسانة مشربة بالبولمر
2- الخرسانة البوليمر
3- الخرسانة البوليمر ذات الاسمنت البورتلاندي

الخرسانة مشربة بالبولمر:

لعمل الخرسانة تجفف الخرسانة التقليدية ذات الاسمنت البورتلاندي ثم المحلول مركب كيميائي غير متبلمر مثل ميثاكركييت المثيل والسترين تحقق البلمرة بواسطة إشعاع كاما أو بواسطة وسائط محفزة حرارية إن اكبر تشبع يمكن انجازه يكون بواسطة إفراغ الخرسانة بالمركب الكيميائي الغير متبلمر تحت تأثير الضغط هذه الخرسانة لها مقاومة انضغاط وشد عالي وكذلك مقاومة صدم عالية ومعامل مرونة عالية وانكماش قليل وذات مقاومة انجماد وذوبان عالية وذات مقاومة للتآكل والتأثيرات الكيماوية عالية هذا كله بسبب المسامية والنفاية الواطئة للخرسانة مشربة بالبولمر.

خرسانة البوليمر:

تعمل الخرسانة بلمرة المركب الكيميائي الغير متبلمر) الممزوج مع الركام وبدرجات حرارة المحيط باستخدام نظام المادة المحفزة أو عوامل معالجة أخرى تصنع هذه الخرسانة من مجموعة من المركب الكيماوي غير المبلر الحاوي على ميثا كريت المثيل والسترين وعند إضافة السيلان إلى مجموعة المركب أعلاه فأن يفعل فعل عامل ربط وآصرة بينية بين البوليمر والركام ولهذا فأن مقاومة المركب (الخرسانة) تتحسن.

تستعمل هذه الخرسانة في الترميمات السريعة ذات حركة المرور المكثفة في صناعة الألواح الجدارية المسبقة الصب والمسلحة بصيغة الفايبر كلاس وفي قطع الأرضيات وفي أنتاج الأنابيب الخفيفة الوزن المسلحة بالفايبر كلاس والتي تستخدم لنقل الماء والمجاري.

خرسانة البوليمر ذات الأسمنت البورتلاندي:

تصنع هذه الخرسانة بإضافة البولمر بشكل محلول مائي أو المركب الكيماوي غير المبلمر الذي يبلمر في موقع العمل إلى الخرسانة الطرية.
أن عصارات المطاط، الأكريليك واستين الفنيل هي مواد نموذجية تستخدم سوية مع عامل مضاد للرغوة لتقليل الهواء المحصور. قيم الحصول على الخواص المثلى بالمعالجة الرطبة لمدة 1 الى 3 يوم ويليها معالجة جافة .
هذه الخرسانةذات متانة عالية وميزات تلاصق أفضل وذات قوة شد وانضغاط وصدم عالي، مقاومة للان جماد والذوبان ومقاومة للتآكل أعلى ولكن لها زحف كبير إذا ماقورنت مع الخرسانة التقليدية. تستعمل هذه بشكل خاص في الجسور السطحية وفي ألواح جدران الستائر الحجرية المسبق الصب.

أنواع خاصة اخرى من الخرسانة

1- الخرسانة ذاتية الرص Self-Compacting Concrete (SCC):

تمكن الباحثين في اليابان في أواخر الثمانينات وفي أوربا نهاية التسعينيات على التوصل بإمكانية إلغاء فقرة رص الخرسانة بشرط المحافظة على خواص الخرسانة بل وأحيانا تحسينها وذلك من خلال إيجاد نوع خاص من الخرسانة سميت "الخرسانة الذاتية الرص.

تعريف الخرسانة الذاتية الرص:

الخرسانة ذاتية الرص يمكن أن تعرف بأنها خرسانة طريه تمتلك انسيابية عالية وجيده وبدون حصول الانعزال في مكوناتها وهذا يساعد على رصها ذاتياً دون استخدام الطرق ألتقليديه للرص. إن استعمال الخرسانة التقليدية في بعض القوالب وخصوصاً في الأماكن ذات التسليح المتشابك المعقد وكذلك في القوالب ذات الأشكال المعقدة والضيقة يسبب حصر بعض الهواء في الخرسانة ويصعب وصول الخرسانة لتغطية جميع المسافة السطحية لحديد التسليح وهذا بدورة يسبب ضعف في مقاومة الخرسانة وقلة في ديمومتها. ولهذا فان استعمال الخرسانة الذاتية الرص الطرية ذات الانسيابية العالية يسهل وصول الخرسانة وبشكل متجانس إلى جميع أجزاء القالب وبدون حصول الانعزال.

تاريخ الخرسانة الذاتية الرص:

وتطور الخرسانة ذاتية الرص يمكن أن يقسم إلى مرحلتين:

المرحلة الأولى: التطور الذي حصل في اليابان في أواخر الثمانينات.
المرحلة الثانية: التطور الذي حصل في أوربا من خلال دولة السويد في منتصف وأواخر التسعينات.

تركيب الخرسانة الذاتية الرص:

الخرسانة الذاتية الرص يمكن أن تعمل من خلال :

1- ضبط نسب الخلط.
2- استعمال مضافات كيميائية مثل مضافات تحسين اللزوجة,
(Viscosity- Modifying Admixture, VMA)
3- استعمال مضافات تقليل الماء بدرجة متفوقة (الملدنات) ,
HRWR, (High-Range Water- Reducing Agent)
4- استعمال مواد بوزولانية مثل غبار السليكا, رماد قشور الرز, رماد الفحم المتطاير.
5- استعمال مواد خاملة مثل مسحوق الحجر الجيري.

ميزات الخرسانة الذاتية الرص:

1- اغلب المواد المناسبة للخرسانة الاعتيادية يمكن أن تستعمل في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص, على الرغم من الاختلافات ألمميزه في إنتاج الخرسانة الذاتية الرص مقارنه مع الخرسانة ألتقليديه. الشيء الأهم هو بان خواص الخرسانة الذاتية الرص يمكن أن تتغير في حدود مؤثره كبيرة. بينما الخرسانة الاعتيادية التغير في الخواص يعتمد على مقدار درجه الرص ألمستخدمه لرصها. خواص الخرسانة ذاتية الرص أيضا هي جداً

حساسة للتغيرات في نوعيه وقوام مكونات الخليط وبسبب هذه الحساسية العالية للتغيير، فان دقه الخلط لجميع مكونات ألخلطه هي مهمة للخرسانة الذاتية الرص لكي تكون ناجحة.

2- المحتوى العالي للمواد ألدقيقه مطلوبة في الخرسانة الذاتية الرص لكي تزيد من تماسكها, ومن هذه المواد خبث الأفران العالية المطحونة, رماد الوقود المحروق ومسحوق حجر الكلس. من الممكن إنتاج خرسانة ذاتية الرص بدون إضافة مواد ذات نعومه فائقة.

3- بسبب عدم استخدام الهزازات في رص الخرسانة ذاتية الرص فان الضوضاء في العمل سوف تقل وكذلك الخطورة الناتجة من استخدام معدات الرص.

4- الخرسانة الذاتية تحتاج إلى أيدي عامله قليلة إذا ما قورنت مع الخرسانة التقليدية ولكن تحتاج إلى وقت كبير لاختبارها قبل صبها في موقعها النهائي.

5- بصوره عامة, فان خواص الخرسانة الذاتية الرص المتصلبة تكون متشابهة أو أفضل من الخرسانة التقليدية المماثلة لها والمرصوصة بالطرق التقليدية.

6- يمكن القول بان الرص والمتانة يمكن أن تتحقق باستعمال الخرسانة ذاتية الرص وذلك من خلال تقليل أخطاء الإنسان (على سبيل المثال الرص الغير كامل).

7- المحتوى العالي للمواد الدقيقة والناعمة والتدرج الجيد للركام المستخدم في إنتاج الخرسانة ذاتية الرص ممكن أن يحسن خواص الخرسانة من خلال زيادة التداخل والتماسك بين حبيبات الركام وعجينه الاسمنت, وهذه الخاصية تفيد في تحسين تحمل ومتانة الخرسانة.

8- لنفس نسب الماء \الاسمنت فان مقاومة الخرسانة ذاتية الرص على الأقل مساوية للخرسانة التقليدية, ولها نفس المنظور في المقاومة.

9- بسبب استعمال نسبة ماء\اسمنت واطئة في الخرسانة الذاتية الرص فان لها مقاومه أنضغاط أكثر من (40نيوتن/ملم٢) وأحيانا تصل إلى (100 نيوتن/ملم٢) .

طرق فحص قابلية التشغيل للخرسانة الذاتية الرص:

يمكن تصنيف فحوصات قابلية التشغيل للخرسانة الذاتية الرص الى ثلاثة مجاميع وهي:

أ- فحوصات قياس قابلية انتشار الخرسانة الذاتية الرص.
ب- فحوصات قياس قابلية االجتياز ومرور الخرسانة الذاتية الرص.
جـ- فحوصات قياس مقاومة الخرسانة الذاتية الرص للعزل والفصل.

طرق فحص قابلية التشغيل للخرسانة الذاتية الرص:

الطرق المستخدمة لفحص خواص الخرسانة الذاتية الرص الطرية (قابلية التشغيل) هى :

١. فحص Slump Flow
٢. فحص L-BOX
٣. فحص Orimet
٤. فحص Orimet/Jring Combined
٥. فحص V-Funnel
٦. فحص U-BOX

2- الخرسانة مرصوصة بالحدل Roller-Compacted Concrete - (RCC):

هي خرسانة اعتيادية ولكنها حاوية على كمية قليلة من الماء لكي يمكن حدلها بسهولة بواسطة الحادلات في مكان صبها مع محتوى مواد ناعمة عالي.

ترمز هذه الخرسانة :-

- **ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC)**

تعرف في اليابان :

- **ROLLED CONCRETE DAM (RCD)**

تاريخ الخرسانة المحدولة بالحادلات (RCC)

*** أول تطبيق لهذه الخرسانة في تنفيذ مدرج طائرات في الولايات المتحدة الامريكية عام 1942.**
*** بعد ذلك استخدمت في كندا في اواخر 1970.**
*** استخدمت في اليابان عام 1974.**

ميزات والفوائد من استخدام RCC :

1- سرعة انجاز المشاريع.
2- استخدام يد عاملة قليلة.
3- الحصول على خرسانة ذات قدرة تحمل عالية.
4- الحصول على خرسانة ذات مقاومة مبكرة عالية.
5- الحصول على خرسانة ذات ديمومة ومتانة عالية.
6- لاتحتاج هذه الخرسانة الى صيانة كثيرة.
7- لاتحتاج هذه الخرسانة الى قوالب خاصة ومعقدة.
8- هذه الخرسانة تنفذ بدون حديد تسليح.
9- خرسانة اقتصادية.
10- سرعة استخدام المشاريع بعد التنفيذ.
11- تصب هذه الخرسانة بشكل مستمر.
12- ثبوتية عالية.
13- انكماش قليل.
14- غير قابلة للانصهار.
15- غير قابلة للذوبان بفعل وقود ودهون المركبات.
16- ذات نفاذية قليلة.

استعمالات الخرسانة المحدولة بالحادلات (RCC):

1- لتنفيذ الطرق الحضرية والريفية.
2- الارصفة.
3- مناطق نقل النفايات.
4- ارضية المخازن الصناعية.
5- انشاء أحوض السفن.
6- انشاء السدود.
7- تشييد الجدران الساندة.
8- الاستخدامات العسكرية لسرعة التنفيذ.
9- ارصفة الموانئ.

مكونات الخرسانة المرصوصة بالحادلات (RCC):

1- الاسمنت.
2- الماء.

3- الركام الناعم (الرمل).
4- الركام الخشن (الحصى).
5- المضافات الكيميائية والمعدنية.

مقاومة الخرسانة المرصوصة بالحادلات (RCC):

تعتمد مقاومة الخرسانة على:

1- نوعية الركام.
2- درجة الحدل.
3- كمية الاسمنت.
4- كمية الماء.
5- كمية المواد البوزولانية.
6- تدرج الركام.
7- نسبة المواد الناعمة/الرمل

الاسمنت:

* يمكن استخدام انواع مختلفة من الاسمنت لإنتاج هذا النوع من الخرسانة.
* عند استخدام هذه الخرسانة لصب كميات كبيرة من الخرسانة يفضل استخدام اسمنت ذو حرارة اماهة قليلة مثل الاسمنت المنخفض الحرارة، او الاسمنت البوزولاني او اسمنت خبث الافران العالية.
* محتوى الاسمنت يتراوح من 80 - 200 كغم/م^3.

الماء:

* هذه الخرسانة عديمة القوام وحاوية على كمية قليلة من الماء لكي يسهل رصها بالحادلات.
* محتوى الماء يتغير من 4% الى 7% من الوزن الكلي للمواد الجافة.
* كمية الماء تتأثر بحجم وشكل الركام وكذلك كمية المواد الاسمنتية المستخدمة.
* هذه الخرسانة ذات حساسية عالية بمحتوى الماء بحيث ان:-
  - اذا قل محتوى الماء حصل الانعزال وكثرة الفجوات.
  - اذا ازداد محتوى الماء قلت المقاومة وصعوبة الحدل.

الركام الناعم (الرمل):

1- نوعية, شكل, قوة وتدرج الركام الناعم له تأثير على درجة الحدل ومقاومة الخرسانة.
2- نسبة المواد الناعمة/الرمل تلعب دورا كبيرا لتقليل الانعزال.

الركام الخشن (الحصى):

1- يلعب المقاس الاقصى للركام دورا كبيرا في درجة الرص في الطبقات الغير سميكة, ليس بقدر الطبقات السميكة.
2- نوعية, شكل, قوة وتدرج الركام الخشن له تأثير على درجة الحدل ومقاومة الخرسانة.

المضافات:

1- الملدنات المبطئة.
2- المبطئات.
3- المواد البوزولانية.
4- مسحوق حجر كربونات الكالسيوم.

الغاية من استخدام الرماد المتطاير:

1- تقليل من حرارة الاماهة.
2- تقليل من الكلفة (كنسبة تعويضية عن الاسمنت).
3- لتحسين قابلية تشغيل الخرسانة.
4- تقليل نفاذية الخرسانة.

الغاية من استخدام الملدنات:

1- تقليل كمية الماء المستخدمة وهذا بدوره سيساعد في تحسين كل خواص الخرسانة.
2- تحسين قابلية تشغيل الخرسانة.

الاجراءات المتبعة لزيادة الترابط بين الطبقات:

1- استعمال المواد المضافة المبطئة.
2- فرش مونة سائلة بين الطبقات.
3- زيادة محتوى عجينة الاسمنت في الخلطات.
4- سرعة العمل وتقليل وقت الصب.

الغاية من استعمال المبطئات:

1- لغرض تقليل من سرعة تفاعلات المواد الاسمنتية وتقليل من حرارة الاماهة.
2- ليسمح بربط جيد بين الطبقات.
3- اعطاء وقت كافي للعمل في الاجواء الحارة.

خطوات تنفيذ الخرسانة (RCC):

1- تهيئة السطح, التنظيف والترطيب.
2- صب ونشر المونة.
3- وضع ونشر الخرسانة.
4- وضع مفاصل السيطرة على الشقوق.
5- رص الخرسانة بالحادلات.
6- فحص كثافة الخرسانة موقعيا ومختبريا.
7- فحص درجة الحدل للخرسانة موقعيا.
8- صب الخرسانة الاعتيادية او المونة للواجهات.

3- الخرسانة عالية المقاومة (High Strength Concrete - HSC):

هى خرسانة ذات مقاومة تزيد عن 60 نيوتن/ملم^2 وقد تصل في بعض الاحيان أوتزيد عن 140 نيوتن/ملم^2 ومقاومة شد عالية تصل الى 10 نيوتن/ملم^2 , ويمكن الحصول عليها باستخدام المواد المحلية المتاحة المستخدمة في صناعة الخرسانة التقليدية ولكن يضاف اليها مادة إضافية اخرى مثل الملدنات الفائقة (المتفوقة) (Super plasticizers) وذلك حتى يتم تقليل ماء الخلط إلى اقصى درجة مع الحصول على نفس القابلية للتشغيل وكذلك اضافة غبار السيليكا وبالتالي الحصول على مقاومة عالية, وتستخدم الخرسانة العالية المقاومة في المباني عالية الارتفاع والجسور والمنشات البحرية ومحطات الطاقة النووية والانابيب الخرسانية تحت الارض والارصفة والطرق.

المميزات العامة للخرسانة عالية المقاومة: -

1- مقاومة الضغط فيها من 60 - 140 ميكاباسكال (نيوتن/ملم^2) (5-7 مرات مقاومة الخرسانة العادية).
2- معاير المرونة يساوى تقريبا مرتين إلى مرتين ونصف معاير المرونة للخرسانة التقليدية مما يساعد فى تقليل الانحناء (Deflection) والتشكل (Deformation).
3- تمتاز بمتانة عالية Durability ومقاومة للاحتكاك ومقاومة للكيماويات.
4- الفوائد الناتجة منها (مثل تقليل القطاعات وزيادة الفضاءات وتقليل الوزن) أكثر من الزيادة فى تكاليف انتاجها.
5- تعطى مقاومة عالية بالنسبه لوحدة الثمن - بالنسبه لوحدة الحجوم - بالنسبه لوحدة الوزن.

كيفية الحصول على خرسانة عالية المقاومة:

يتم الحصول عليها باستخدام المواد المحلية المستخدمة فى صناعة الخرسانة التقليدية مضاف اليها الملدنات وغبار السيليكا.

خصائص مكونات الخرسانة عالية المقاومة:

A) الركام القوي: -

1- يستخدم ركام قوى ومتين لانه يتحكم فى مقاومة الخرسانة القصوى.
2- االشقوق فى حالة الخرسانة عالية المقاومة تمر خلال حبيبات الركام الكبير وليس حولها كما فى الخرسانة التقليدية.
3- الكرانيت والدولوميت تعطى مقاومة اكبر من التى يعطيها الزلط تتراوح من 10 - 20%.

B) الركام الصغير: -

مثل رمل ذو معاير نعومة يتراوح بين 3.0 – 2.8 وذلك لاحتواء الخرسانة على نسبة كبيرة من المواد الناعمة (اسمنت+غبار السيليكا).

C) الاسمنت:-

يتراوح محتوى الاسمنت بين 500 - 450 كغم/م^3 لانها افضل قيمة تعطى اعلى مقاومة.

D) غبار السيليكا:-

هو مادة بوزولانية تحتوى على نسبة عالية من Sio_2 تصل 96% وتتفاعل مع $Ca(OH)_2$ الحر الناتج من تفاعل الاسمنت مع المادة مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل هيدرات سليكات الكالسيوم C_sH .

*** وظيفته:**

1- يعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية وبالتالى تزيد مقاومة الضغط والتماسك وتحسين النفاذية.
2- يحسن غبار السيليكا مقاومة الضط بنسبة تصل لـ 20% وافضل نسبة لاضافة غبار السيليكا تتراوح من 10 - 15%.

E) الملدنات:-

تضاف للخلطة كنسبة من وزن الاسمنت وتكون من مادة تتوافق مع الاسمنت.

*** وظيفتها:**

تقليل ماء الخلط للحصول على مقاومة عالية.

مميزات الخرسانة عالية المقاومة:

1- مقاومة الضغط تتراوح من 600-1400 كغم/سم٢ تقدر بحوالى 5 - 7 مرات التقليدية.
2- معاير مرونة الخرسانة عالية المقاومة يساوى تقريبا مرتين او اكثر معاير مرونة الخرسانة التقليدية مما يقلل Deformation, للخرسانة عالية المقاومة.
3- الخرسانة عالية المقاومة تمتاز بمتانة عالية Durability (تحمل مع الزمن) ومقاومتها عالية للبرى والكيماويات.
4- قلة القطاعات الخرسانية وبالتالى قلة وزن المنشأ وزيادة لبحر العناصر الانشائية.

عيوب الخرسانة عالية المقاومة:

1- الخرسانة عالية المقاومة أكثر قصافة من التقليدية.
2- الانهيار يكون مفاجىء فى الخرسانة عالية المقاومة لان الكسر يكون خلال الركام الكبير وليس حوله ويتم التغلب على ذلك باستخدام الياف معها مع عمل ضبط جودة بدرجة عالية والتحكم فيها.

تطبيقات الخرسانة عالية المقاومة:
1- المبانى عالية الارتفاع.
2- الجسور.
3- المنشات البحرية.
4- المنشآت التى تتطلب مقاومة مبكرة عالية.
5- استخدام قطاعات مركبة لزيادة الجسائة.
6- تستخدم فى محطات الطاقة النووية.
7- تستخدم فى الانابيب الخرسانية تحت الارض.
8- تستخدم فى الارصفة والطرق.

4- الخرسانة عالية الاداء (High Performance Concrete -HPC):

هى الخرسانة لها صفات وخصائص معينة تسمح لها بالعمل في وسط وظروف معينة وهذه الخصائص قد تتضمن خصائص الخرسانة الطازجة (القابلية للتشغيل – القوام ...) او تتضمن خصائص الخرسانة المتصلدة (مقاومة البري – الخدش – الصقيع - الانكماش) وهذه الخصائص قد تكون مجتمعة او منفصلة بحيث تعطي اداء مختلف عن الاداء الخرسانة التقليدية المعتادة. والخرسانة العالية الاداء لا يشترط فيها ان تكون عالية المقاومة.

5- الخرسانة البوليمرية (Polymer-concrete):

هى خرسانة خاصة يمكن الحصول عليها بمعاملة الخرسانة العادية بمواد البوليمر التي تعمل كمادة لاحمة أو مالئة للفراغات بين حبيبات الركام والتي تمثل (6-8) % من وزن الخرسانة. (البوليمر– مادة عضوية تتكون من

العديد من الجزئيات المتشابهة ذات الوزن الجزئي المرتفع مثل بولي استر (Polyster – إيبوكسي Epoxy) ومن عيوبها ارتفاع التكلفة حيث انها تمثل (2-3) امثال الخرسانة التقليدية.

ومن مميزاتها: -

1- مقاومة ضغط عالية تصل لـ 120 نيوتن/ملم^{2}
2- مقاومة شد تصل لـ 10 نيوتن/ملم^{2}.
3- مقاومة عالية جداً للانكماش.
4- مقاومة عاليه للعوامل الخارجية مثل التآكل ونفاذ الماء.

6- خرسانة المساحيق الفعالة REACTIVE POWDER CONCRETE (RPC):

خرسانة المساحيق الفعالة (RPC) هي جيل جديد من الخرسانة عالية الكثافة والقوة تسمح لصناعة الخرسانة بتطور نوعي مهم جدا يتعلق بتحسين استخدام المواد مع فوائد اقتصادية واقامة منشأت قوية ومتينة ومقاومة للظروف البيئية، تتكون من مزيج خاص من المكونات. التي تكون فعالة بالمقارنة مع مكونات الخرسانة من الانواع الاخرى. تشتمل تركيبة الخرسانة المسحوقة على الأسمنت (الأسمنت البورتلاندي العادي)، الرمل الناعم، غبار السيليكا، مسحوق الكوارتز، والألياف الفولاذية العالية الشد. ولا وجود للحصى. ويعني المصطلح "مساحيق فعالة" أن جميع مكونات المسحوق في RPC تتفاعل كيميائياً بعد الصب مباشرة عكس الخرسانة عالية الاداء او الاعتيادية فالأسمنت بالاماهة المعروفة؛ غبار السيليكا من خلال تفاعل البوزولانا مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من الاماهة. رمل الكوارتز من خلال توفير السيليكا المذابة لتشكيل المزيد من هلام سيليكات الكالسيوم وتشكيل تركيبات جديدة قوية جدا عندما يتعرض RPC المعالجة الحرارية أو وضع الضغط.
ظهرت خرسانة المساحيق الفعالة لآول مرة عام 1993، عندما قامت الشركة الفرنسية Bouygues بتطوير نوع جديد (في ذلك الوقت) من المواد المركبة عالية الأداء القائمة على الأسمنت – الخرسانة المسحوقة. فعلى الرغم من أنه لم يمض وقت طويل منذ ظهوره، فقد تم بالفعل تطبيق استخدام هذا النوع من الخرسانة بنجاح في مجال البناء الهندسي في غضون سنوات، وبسبب خواصه الميكانيكية العالية ومتانته الممتازة فأنشأ أول جسر للمشاة من RPC في العالم في مقاطعة كيبيك في كندا 1997 تصنف خرسانة المساحيق الفعالة تحت الخرسانة فائقة الأداء. هذا النوع من الخرسانة لديه خصائص ميكانيكية ومتانة مطورة وبقوة ضغط عالية تصل إلى 200 ميكا باسكال (RPC200) والتي يمكن تحسينها بشكل أكبر عن طريق إدخال كرات او الياف الحديد حتى 800 ميكاباسكال (RPC800) وقد تم في هذه الخرسانة التوصل الى مطيلية عالية مع قوة انثناء 25 ميكاباسكال إلى ميكاباسكال ومعاملات مرونة عالية بالمقارنة مع الخرسانة العادية ويرجع هذا الأداء إلى التجانس وتحسين خصائص المجهرية وهيكل المسام غير المتقطع.

شكل يوضح خرسانة المساحيق الفعالة

مكونات خرسانة المساحيق الفعالة:

1-الماء:
وهو الوسط الذي تحدث فيه جميع التفاعلات. حيث يجب ان تكون نسبته قليلة قدر الامكان ويوصى ان تتراوح (W/C) من 16%-24% وفي بعض الاعمال كانت 13%.

2- الاسمنت:
ووظيفته كمادة رابطة ويكون أما أسمنت بورتلاند اعتيادي او النوع المعدل ويجب ان تكون نسبة (C_3A) أقل ما يمكن ونسبة (C_3S وC_2S) اعلى ما يمكن.

3-غبار السيليكا:
ونسبتها تقريبا (25٪ بالوزن)، ويفضل ان تكون حبيباته مدورة ليسهل انزلاقها ولتعمل كزيوت تشحيم. ولها أربع وظائف رئيسية على النحو التالي:
أ. ملء الفراغات بين الجزيئات الكبيرة (الاسمنت). وتحسين التماسك وتقليل احتمالية الانعزال.
ب. تحسين مقاومة الخرسانة وديمومتها، عن طريق الحد من نفاذية عجينة الأسمنت.
جـ. إنتاج الاماهة الثانوية مع الجير الناتج عن الاماهة الأولية.
د. جعل الخرسانة أكثر مقاومة للقوى البري، والحد من التمدد في الخرسانة الناتج عن القلويات في الركام.

4- الملدن الفائق:
الغرض منه زيادة قابلية التشغيل مما يساعد على زيادة في قابلية خلط الخرسانة وتقليل كمية المياه المضافة إلى الخليط وإنتاج خرسانة اقوى.

6- رمل الكوارتز الناعم:
وظيفته اضفاء القوة على الخرسانة المتصلبة. اذ لا وجود للركام الخشن لتحسين التجانس. يجب ان يكون حجم الحبيبات متدرجا لزيادة الكثافة المرصوصة حيث تتراوح أحجام الجسيمات بين 45 إلى 600 ميكرومتر.

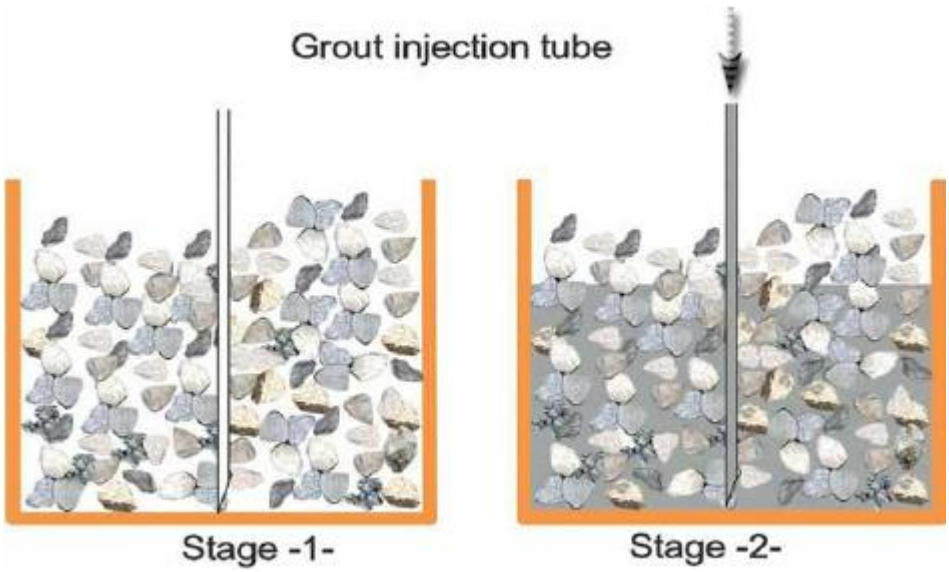
7-ألياف الحديد:
والهدف من اضافتها هو تحسين المطيلية ومقاومة القصافة ونسبتها (2.5%-10%) من حجم الخرسانة. اضافة الى ذلك فأن خرسانة المساحيق الفعالة تحتاج الى معالجة حرارية بالبخار للتحكم وتحسين عملية تكوين الجل وضغط اولي قبل المعالجة لزيادة رص الحبيبات.

مميزات خرسانة المساحيق الفعالة:

1- قوة ضغط عالية جدا من 200 ميجا باسكال الى 800 ميكاباسكال (تقريبا أربعة أضعاف قوة الخرسانة التقليدية) مع ارتفاع مقاومة القص هذا يؤدي إلى تقليل ملحوظ في الحمل الميت. حيث قد تصل اوزان العناصر المصبوبة من هذا النوع من الخرسانة الى ثلث أو نصف الهياكل الخرسانية التقليدية المقابلةهذا بدوره يلغب دور في إنتاج هياكل أكثر رشاقة النقل، والحد من التكاليف الإجمالية وزيادة المساحة الأرضية القابلة للاستخدام في المباني الشاهقة.
2- مطيلية متفوقة وامتصاص الطاقة (القيم النموذجية من 300 مرة أكبر من ذلك من HPC وقابلة لتلك من بعض المعادن) توفر موثوقية أكبر الهيكل حتى تحت ظروف الحمل الزائد أو الزلازل.
3- المسامية المنخفضة وغير المترابطة تقلل كثيرا من انتقال الموائع عبرها ، وهي من الميزات المطلوبة في محطات الطاقة النووية وحتى احواض حفظ السوائل.
4- الديمومة الفائقة مما يؤدي إلى عمر خدمة طويل مع صيانة قليلة. RPC تقريبا غير منفذة، فلا تحدث عملية الكربنة أو اختراق الكلوريدات والكبريتات الا بصورة بطيئة. كما ان مقاومة البري المحسنة تجعلها كالصخر وتوفر عمر خدمي طويل لروافد الجسور والأرضيات الصناعية؛ بينما توفر مقاومة التآكل (الصدأ) المحسنة الحماية للمناطق ذات الظروف المناخية السيئة أو القاسية مثل الأمطار المركزة والثلج، والعواصف الرملية الشديدة.
5- تقليل الحاجة الى قضبان حديد التسليح يقلل من تكاليف العمالة المرتفعة ويوفر هامش أكبر للحرية المعمارية. وهذا يعني أنه يسمح لعدد غير محدودة تقريبًا.
6- تخفيض سمك العناصر الخرسانية يؤدي إلى توفير المواد والتكلفة. أضافة الى تحسين الأداء الزلزالي عن طريق تقليل قوة الاستمرارية Inertia load. نظرا لخفة الوزن.
7- نعومة مكونات RPC يسمح بأنهاء السطوح بجودة عالية.

7-خرسانة الركام المسبق الوضع (Preplaced Aggregate Concrete)

تحتوي هذه الخرسانة على نفس مكونات الخرسانة الاعتيادية ولكن تعمل وتنتج هذه الخرسانة على مرحلتين وكما مبين في الشكل أدناه، في المرحلة الاولى يوضع الركام الخشن (مقاسات كبيرة) في القالب، وفي المرحلة الثانية يتم ضخ المونة بين الركام بواسطة الانابيب بعد خلطها بخلاطات عالية السرعة.
يطلق على هذه الخرسانة ايضا مصطلح خرسانة المرحلتين (Two-Stage Concrete)، ومصطلح (Colcrete) و (Polcrete).



شكل يوضح مراحل انتاج خرسانة الركام المسبق الوضع

الفائدة من هذه الطريقة لانتاج الخرسانة:

1- تكون الخرسانة ذات حرارة اماهة قليلة وذلك لكونها ذات محتوى اسمنتي قليل.
2- تمتاز هذه الخرسانة بمقاومة وكثافة عالية.
3- تكون ذات فائدة اقتصادية في توفير المواد.
4- هذه الخرسانة تكون ذات انكماش قليل.
5- معامل التمدد الحراري لهذه الخرسانة يكون قليل.
6- تكون مكونات الخرسانة ذات ترابط جيد فيما بينها.
7- تستعمل هذه الخرسانة في المقاطع ذات التسليح الكثيف.
8- تستعمل ايضا في صيانة المنشاءات تحت الماء.
9- يمكن صب وانتاج كميات كبيرة من الخرسانة لسهولة خلطها وصبها.

*** الركام الخشن يجب ان ذو مقاسات كبيرة وذات متانة وقوة وتدرج جيد ونظيف من الاملاح والاتربة ليسل ترابطه مع المونة.**
*** كذلك تصمم المونة بحيث تكون ذات انسيابية عالية ومتجانسة ويجب ان تخلط بخلاطات ذات سرع عالية.**
*** يجب الاهتمام بقوالب الصب وتكون محكمة لمنع خروج المونة منه. ويكون ذو تحمل عالي الناتج من الركام والمونة.**