وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية
المعهد التقني التكنلوجي - البصرة
قسم التقنيات المدنية

الحقيبة التعليمية

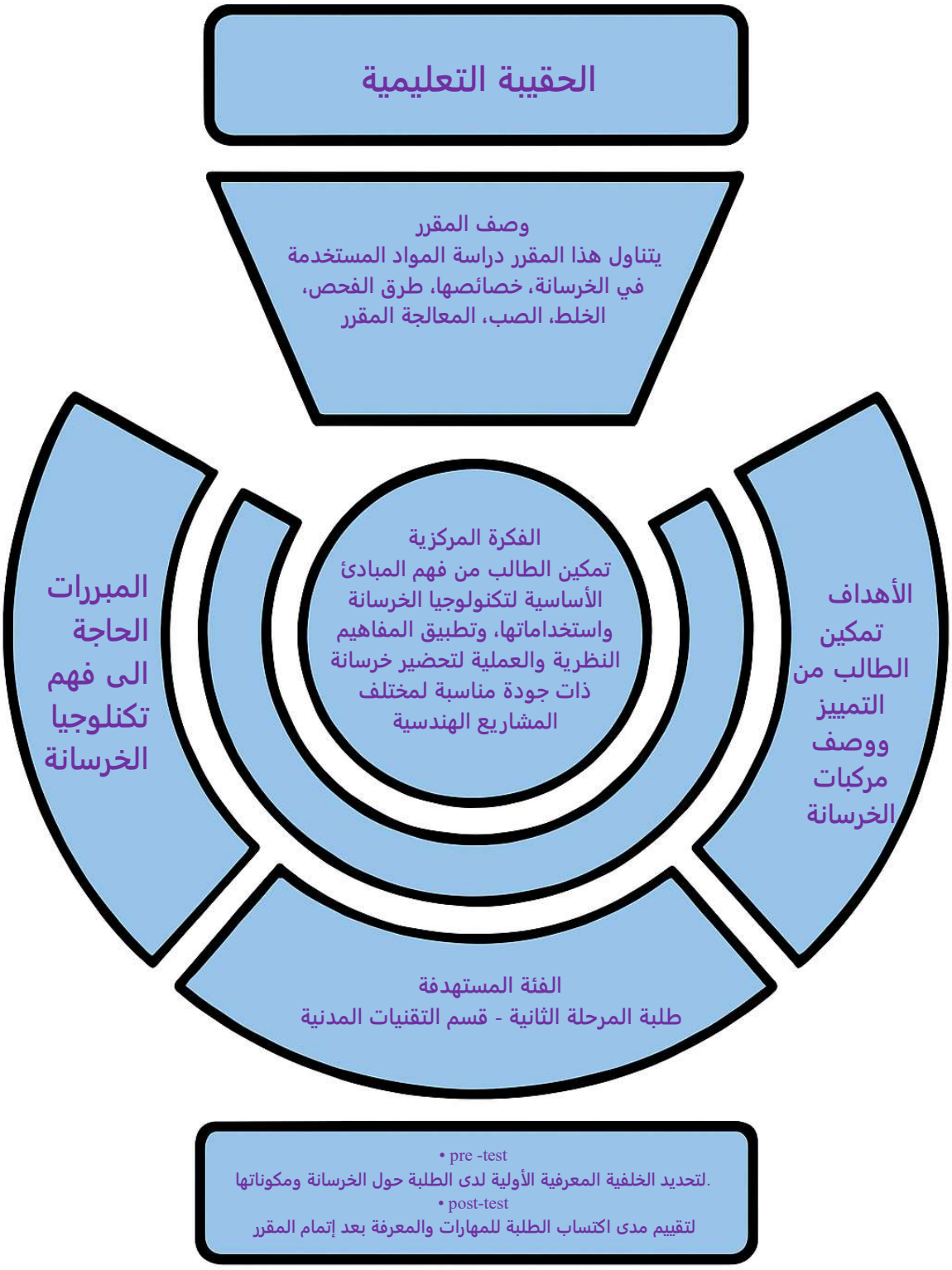
في

تقنيات الخرسانة

لطلبة المرحلة الثانية

الدكتور
حيدر الديوان

2025


الحقيبة التعليمية
وصف المقرر
يتناول هذا المقرر دراسة المواد المستخدمة في الخرسانة، خصائصها، طرق الفحص، الخلط، الصب، المعالجة المقرر
الفكرة المركزية
تمكين الطالب من فهم المبادئ الأساسية لتكنولوجيا الخرسانة واستخداماتها، وتطبيق المفاهيم النظرية والعملية لتحضير خرسانة ذات جودة مناسبة لمختلف المشاريع الهندسية
الأهداف
تمكين الطالب من التمييز ووصف مركبات الخرسانة
المبررات
الحاجة الى فهم تكنلوجيا الخرسانة
الفئة المستهدفة
طلبة المرحلة الثانية - قسم التقنيات المدنية
• pre -test
لتحديد الخلفية المعرفية الأولية لدى الطلبة حول الخرسانة ومكوناتها.
• post-test
لتقييم مدى اكتساب الطلبة للمهارات والمعرفة بعد إتمام المقرر

1. اسم المقرر:

تقنية الخرسانة

2. رمز المقرر:

1

3. الفصل / السنة: السنوي

فصلي / السنة الثانية

4. تاريخ إعداد هذا الوصف:

01/06/2025

5. أشكال الحضور المتاحة:

حضوري فقط

6. عدد الساعات الدراسية (الكلي)/ عدد الوحدات (الكلي):

120 ساعة بالسنة (2 نظري + 2 عملي على مدار 30 أسبوع) / 8 وحدات (4 وحدات لكل فصل)

7. اسم مسؤول المقرر الدراسي (اذا اكثر من اسم يذكر)

الاسم: د.حيدر عبدالحسين عودة الديوان
الآيميل : hayder.aldeewan@stu.edu.iq

8. اهداف المقرر

تعليم الطالب المباديء الأساسية المكونة للخرسانة وتركيبها والأساليب المختلفة في صب الخرسانة وانتاجها في المواقع الأنشائية وكذلك التفاصيل العملية

9. استراتيجيات التعليم والتعلم

الاستراتيجية

1. الاستراتيجيات المعرفية.
2. استراتيجيات التعلم النشط.
3. استراتيجيات التعلم التعاوني.
4. استراتيجية المناقشة.

10. بنية المقرر

الأسبوع	الساعات	مخرجات التعلم المطلوبة	اسم الوحدة او الموضوع	طريقة التعلم	طريقة التقييم
الفصل الاول					
الأول	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)	1- تمكين الطلبة من الحصول على المبادئ والنظريات والأساسيات في طبيعة الخرسانة ومكوناتها وكيفية انتاجها وطرق الخلط والزمن اللازم	نظريا مراجعة عامة عن المواد الداخلة في الخرسانة عمليا مراجعه عامه عن الفحوصات الخاصة عن االسمنت والركام	محاضرات نظرية وعملية	امتحانات تحريرية ومناقشة وتقارير
الثاني	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		خلط الخرسانة		

الثالث	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)	للخلط . 2- القدرة عى القيام باعمال الفحوصات المختبرية والموقعية. 3- التعرف على طرق معالجة الخراسنة في المباني	خواص الخرسانة الطرية		
الرابع	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		فحوصات الخرسانة : فحص السيولة ، فحص الاختراق ، فحص الهطول ، فحص عامل الرص ،فحص أعاده التشكيل بالرجات والاهتزازات الترددية ،عمليا اجراء فحص عامل الرص للخرسانة الطرية		
الخامس	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		خواص الخرسانة الطرية : النزف والا نفصال عمليا اجراء فحص اعادة التشكيل بالا هتزازات الترددية		
السادس	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الانكماش اللدن ووحدة الوزن في الخرسانة الطرية. عمليا اجراء فحص الانسياب للخرسانة الطرية.		
السابع	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		نظريا تأثير الفراغات الهوائية وطرق قياسها وحساب وحدة الوزن وعامل الإ سمنت في الخرسانة الطرية ومعادلة الكثافة ومعادلة الحجوم المطلقة لحساب مكونات الخرسانة. عمليا فحص الاختراق (موقعي)للخرسانة الطرية		
الثامن	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		معادلة الكثافة ومعادلة الحجوم المطلقة عمليا اجراء تجربة تأثير الماء/الإسمنت على مقاومة تحمل الخرسانة المتصلبة.		
التاسع	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		نقل الخرسانة عمليا تجربة تأثير نسبة الخلط على مقاومة تحمل الخرسانة المتصلبة.		
العاشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		انضاج الخرسانة عمليا تجربة تأثير طرق الإنضاج على مقاومة تحمل الخرسانة المتصلبة.		
الحادي عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الخرسانة المضخوخة عمليا تأثير طريقة الرص اليدوي و الميكانيكي على مقاومة تحمل الخرسانة المتصلبة.		
الثاني عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الخرسانة الجاهزة الخلط عمليا تأثير شكل وحجم النموذج على مقاومة تحمل الخرسانة المتصلبة		
الثالث عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الخرسانة المتصلبة عمليا تأثير العمر على مقاومة تحمل الخرسانة المتصلبة.		
الرابع عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		فحوصات مقاومة الخرسانة المتصلبة عمليا تجربة مقاومة الشد للخرسانة المتصلبة.		

الخامس عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		العوامل المؤثرة على مقاومة الخرسانة عمليا تجربة ايجاد معاير الكسر (الا نحناء) للخرسانة المتصلبة باستخدام نماذج على شكل جسور خرسانيه غير مسلحه.		
الفصل الثاني					
الأول	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		انكماش الخرسانة عمليا فحص تأثير استعمال المضافات على قابلية التشغيل للخرسانة الطرية.	محاضرات نظرية وعملية	امتحانات تحريرية ومناقشة وتقارير
الثاني	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		المواد المضافة عمليا فحص تأثير المواد المضافة على مقاومة الخرسانة المتصلبة (مقاومة الا نضغاط ، الشد بالانشطار ، الشد بالا نحناء).		
الثالث	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		انواع المواد المضافة عمليا فحص تأثير المواد المضافة على مقاومة الخرسانة المتصلبة (مقاومه الا نضغاط ، الشد بالانشطار ، الشد بالا نحناء)		
الرابع	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		تصميم الخلطات الخرسانية عمليا فحص مطرقة شميدت.		
الخامس	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		تصميم الخلطات الخرسانية عمليا فحص الموجات فوق الصوتية.		
السادس	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		مسائل تطبيقية عمليا فحص تأثير الألياف على قابلية التشغيل للخرسانة الطرية		
السابع	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		مسائل تطبيقية عمليا فحص تأثير الألياف على مقاومة الخرسانة المتصلبة (انضغاط ، الشد بالا نشطار ، الشد بالانحناء)		
الثامن	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الفحوصات الغير اتلافية للخرسانة طرق الاشعاع ، طرق الصلادة ، طرق النبضات ، طرق الرنين. عمليا فحص قابلية التشغيل للخرسانة الخفيفة الوزن		
التاسع	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الخرسانة الليفية عمليا فحص مقاومة الانضغاط للخرسانة الخفيفة الوزن.		
العاشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الخرسانة البوليميرية عمليا فحوصات المقاومة للخرسانة العالية المقاومة(انضغاط ، الشد بالا نشطار ، الشد بالانحناء)		

الحادي عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الأنواع الخاصة من الخرسانة الكتلية ، الخفيفة الوزن ، الثقيلة ، الخرسانة تحت الماء ،خرسانة الركام مسبق الوضع عمليا فحوصات المقاومة للخرسانة العالية الأداء(انضغاط ، شد با لانشطار ، بالانحناء)		
الثاني عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		الأنواع الخاصة من الخرسانة :الخرسانة عالية الأداء ، الخرسانة ذاتية الرص ، الخرسانة عالية المقاومة ،المرصوصة بالحدل عمليا فحص قابلية التشغيل للخرسانة ذاتية الرص.		
الثالث عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		فحص المقاومة للخرسانة ذاتية الرص (الانضغاط ، الشد بالانشطار ، بالانحناء).		
الرابع عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		اصلاح وصيانة ومعالجة الخرسانة في المباني باستعمال بعض المواد الحديدية كالايبوكسي والألياف الكاربونية عمليا مشروع تصميم الخلطات الخرسانية.		
الخامس عشر	4 ساعات (2 نظري + 2 عملي)		مشروع تصميم الخلطات الخرسانية ، عمل خلطات تجريبيه باتباع الطريقة الأ مريكية والبريطانية يتضمن كافة الفحوصات الخاصة بالسمنت والركام.		

11. تقييم المقرر

توزيع كالتالي: 50 درجة للسعي (20 نظري + 20 عملي + 10 اعمال سنة) . 50 درجة للامتحان النهائي (40 نظري + 10 عملي)

12. مصادر التعلم والتدريس

الكتب المقررة المطلوبة (المنهجية أن وجدت)	تكنولوجيا الخرسانة ، جلال بشير سرسم
المراجع الرئيسة (المصادر)	تكنولوجيا الخرسانة ، د. مؤيد نوري الخلف و هناء عبد يوسف
الكتب والمراجع الساندة التي يوصى بها (المجلات العلمية، التقارير....)	المجلة العراقية للهندسة المدنية
المراجع الإلكترونية ، مواقع الانترنيت	العديد من المواقع الالكترونية الخاصة بالهندسة المدنية

الخرسانة
CONCRETE

الخرسانة:

الخرسانة كتلة غير متجانسة متكونة من خليط السمنت والرمل والحصى بالماء ويعتبر السمنت المادة الفعالة في هذا الخليط اذا انه يتفاعل فيزياويا وكيمياويا مع الماء مكونة المادة اللاصقة ثم يكون كتلة صلبة مشابه للصخور الطبيعية المقاومة للظروف الجوية.
يطلق تعبير الخرسانة الطرية (Fresh Concrete) على الخرسانة المخلوطة حديثا والتي لم تتماسك بعد, وهذه الخرسانة تفقد لدونتها بصورة تدريجية, وعندما تتماسك تماما, تعرف بالخرسانة الخضراء (Green Concrete). ولكن عند تجاوزها هذه المرحلة ودخولها في مرحلة التصلب, أي اكتساب المقاومة, بحيث تستطيع أن تتحمل الأثقال المؤثرة على المنشأ, تعرف عندئذ بالخرسانة المتصلبة (Hardened Concrete).

المجاميع (الركام) :

وهي عبارة عن الحصى والرمل المستعمل في الخرسانة وان هذه المواد هي مواد خاملة تقوم بالوظائف التالية:
1- ملىء الفراغات الموجودة في الخرسامة.
2- تقوم بمقاومة التغيرات الجمعية.

أسباب استعمال المجاميع :

1- مواد رخيصة الثمن.
2- مواد اولية متوفرة.
3- تكون قلب الخرسانة وتشغل حوالى 75% من جسم الخرسانة.
4- تقاوم المتغيرات الجمعية (Shrinkage, Creep).

بعض خواص الخرسانة :

1- تاخذ شكل القالب الذي تصب فيه.
2- قوة تحملها في حالة الضغط عالية.
3- قوة تحملها في حالة الشد ضعيفة.

علاقة الفراغات بقوة تحمل الخرسانة:

كلما كانت الفراغات كبيرة داخل الخرسانة من حيث الحجم والعدد والشكل ففي هذه الحالة تقلل من قوة التحمل وذلك لانها تقلل من كثافة الخرسانة وبالتالي تؤدي الى حصول ضعف الخرسانة.

مصطلحات علمية:

*** تتكون عجينة الاسمنت من خلط الاسمنت مع الماء:**

Cement Paste → Cement + Water

*** يتكون الملاط (القيمة, المونة) من خلط الاسمنت, الماء والركام الناعم (الرمل):**

Mortar → Cement + Water + Fine Aggregate

*** تتكون الخرسانة الاعتيادية من خلط الاسمنت, الماء, الركام الناعم (الرمل) والركام الخشن (الحصى):**

Normal Concrete →Cement+Water+ Fine Aggregate +Coarse Aggregate

*** تتكون الخرسانة المسلحة من خلط الاسمنت, الماء, الركام الناعم (الرمل),الركام الخشن (الحصى) وحديد التسليح:**

Reinforced Concrete → Cement + Water + Fine Aggregate + Coarse Aggregate + Steel Bars

أنواع من الخرسانة:

من أشهر أنواع الخرسانة:-

1- الخرسانة الاعتيادية: (Plain Concrete)
وتستعمل بشكل كبير في البناء مثل التبليط والسدود والساحات, الخ

2- الخرسانة المسلحة: (Reinforced Concrete)
هذا النوع شائع الاستعمال في البناء للسقوف والجسور والأعمدة والأسس وفي كل مكان يتطلب قوى عالية للشد والضغط.

3- الخرسانة المسبقة الجهد: (Pre-Stressed Concrete)
يستفاد منها في شتى المجالات كالجسور والملاعب ومن ميزاتها استخدام سمك اقل وحجم اقل من الخرسانة وبقوة تضاهي قوة الخرسانة المسلحة. أما بالنسبة لقوة الشد فتكون عالية جدا ويتطلب هذا النوع من الخرسانة إلى أيدي ماهرة وطرق فنية خاصة لإنتاجه.

4- خرسانة البناء الجاهز: (Pre-Fabricated Concrete)
يتم توفير مفردات البناء من الخرسانة المسلحة في المعامل وتجهيز المواقع بها لربطها.

5- خرسانة الصب ألموقعي: (Cast In Situ Concrete)
هي الخرسانة التي تخلط داخل موقع المشروع, حيث يتم تحضير كافة مواد الخرسانة من الاسمنت, الماء, الركام الناعم والركام الخشن داخل الموقع.

6- الخرسانة الجاهزة الخلط: (Ready Mixed Concrete)

هي الخرسانة التي تخلط داخل مصنع مركزي (خلاطة مركزية) ثم تنقل إلى موقع العمل بواسطة شاحنات خلاطة أو شاحنات رجاجة. تستعمل الشاحنات الرجاجة عندما تخلط الخرسانة خلط كامل داخل المصنع المركزي, بينما تستعمل الشاحنات الخلاطة عندما تخلط الخرسانة خلط جزئي داخل المصنع المركزي أو تخلط خلط كامل داخل الشاحنات الخلاطة نفسها.

خواص الخرسانة :

1- مقاومة العوامل الجوية.
2- مقاومة الضغط الناتج عن الاحمال المصممة.
3- تتحمل مرور الزمن.
4- تتحمل الاختلاف في درجات الحرارة بين الليل والنهار والشتاء والصيف.
5- تكون غير نفاذة في بعض المنشاءات مثل السدود.

6- تكون ذات قوة في تحمل عالية في حالة الضغط وتقاوم التأكل بفعل المواد الموجودة في التربة كما في الاسس.
7- تكون مقاومة الى فعل الاملاح والرج كما في المنشأءات البحرية.
8- تكون مقاومة الى التفاعلات الكيمياوية كما في بعض المنشاءات مثل المخازن.

مكونات الخرسانة :-

تتكون الخرسانة من المواد الرئيسية التالية :-

1- السمنت (cement) 200- 500 kg/m^3.
2- الركام (Aggregate) ويكون بنسبة (60 – 80) %.
ويشمل نوعين من الركام وحسب نسب الخلط وهي :-
أ- الركام الناعم Fine Aggregate.
ب- الركام الخشن Coarse Aggregate.
3- الماء (Water) ويكون بنسبة 40 % -- 60 % من وزن السمنت (W / C).
4- المضافات (Admixtures) وتستعمل في بعض الخلطات بنسبة مئوية من وزن الماء أو وزن السمنت .

نسب خلط الخرسانة :-

هناك خلطات خرسانية كثيرة قد تكون متداولة او تصصم لمشروع معين وحسب ظروف المشروع والمقاومة المطلوبة و نذكر منها (3) خلطات رئيسية شائعة في العراق وهي :-

نسب الخلط حصى : رمل : سمنت	الاستعمالات
1:1.5:3	في الاعمال التي تتطلب مقاومة عالية كالأعمدة والجسور
1:2:4	في معظم الاعمال الانشائية ذات التحمل المعتدل
1:3:6	في الأعمال التي تتطلب مقاومة منخفضة كالارضيات

خواص الخرسانة:-

للخرسانة خصائص كثيرة تمتاز بها عن المواد الاخرى فهي تأخذ شكل صلد ومتين مع الزمن تدريجياً وتبدأ بالتماسك الابتدائي وتنتهي بالتماسك النهائي وتمتاز الخرسانة بكونها شديدة المقاومة للضغط (Compression) ولكنه في نفس الوقت ضعيفة جداً في مقاومتها للشد (Tension) لذلك فالخرسانة (غير المسلحة) لاتستخدم في الاماكن التي تحدث فيها اجهادات شد مثل الجسور او العتبات وللتغلب على هذه المشكلة يوضع الحديد وهو مقاوم ممتاز لقوى الشد لذلك نجد أن مركباً خليطاً من الخرسانة والحديد يعطي مادة مثالية لمقاومة الاجهادات المختلفة المؤثرة عليها وهذا المركب يعرف بأسم الخرسانة المسلحة (Reinforced Concrete).
وتعد مقاومة الضغط من اهم خواص الخرسانة المتصلبة وهي تعبر عن درجة جودتها وصلاحيتها ومقاومة الضغط هي المقاومة الام للخرسانة حيث أن معظم الخواص الاخرى والمقاومات الاخرى مثل الشد والانحناء والقص والتماسك مع حديد التسليح تتحسن وتزيد بزيادة مقاومة الضغط وتتراوح مقاومة الضغط للمنشاءات التقليدية بين (25 – 35) MPa .

*** Compressive Strength : مقاومة الانضغاط ويرمز لها بالرمز(σ_c) ووحدتها MPa (N/mm^2) أو (kg/cm^2) وتتراوح قيمتها للخرسانة الاعتيادية بين(15- 50) MPa وللخرسانة العالية المقاومة تتراوح بين (50- 200) MPa .**
*** Tensile Strength : مقاومة الشد ويرمز لها بـ (σ_t) وتتراوح بين 8 – 11 % من مقاومة انضغاط الخرسانة وتستخدم النسبة (10 %)عادة لحساب مقاومة الشد نسبة الى مقاومة الانضغاط .**

السمنت

تعريف السمنت :-

هي مادة انشائية تمتلك خواص تماسكية وتلاصقية بوجود الماء تعمل على ربط مكونات الخرسانة مع بعضها البعض ومع حديد التسليح كما تعمل على ربط المواد الانشائية كالحجارة والكتل الخرسانية .

اكتشاف السمنت :-

تم اكتشاف السمنت البورتلاندي الاعتيادي عام 1824 م من قبل العالم (جوزيف اسبيدن) حيث قام بحرق خليط من الطين والحجر الجيري وطحنه وتحويله الى مسحوق ناعم سمي بالسمنت الهيدروليكي لتفاعله مع الماء وتصلده وقد سميت المادة بالسمنت البورتلاندي نسبة الى المنطقة التي جلبت منها المواد الخام الداخلة في صناعة السمنت وهي جزيرة (بورتلاند) البريطانية .

صناعة السمنت :-

بشكل عام تتم عملية صناعة السمنت من خليط من الحجر الجيري بنسبة (75%) والطين بنسبة (25%) يضاف اليها في أغلب الاحيان اوكسيد الحديد (مواد خام الحديد) او اوكسيد السليكون (الرمل) او اوكسيد الالمنيوم (البوكسيت) اذا كان الطين المستعمل يحتوي على نسب ضعيفة من أحد هذه المواد.

وتتم عملية صناعة السمنت بالمراحل الرئيسية التالية :-

1- مزج المواد الاولية بشكل متجانس وبنسب معينة .
2- طحن المواد الاولية وتكسيرها الى حبيبات بحجم ما بين (10- 50) ملم .
3- تسخين المزيج في فرن دوار الى درجة حرارة تقريبا (1500) م حيث تنصهر المواد مكونة حبيبات كروية تدعى بالكلنكر (Clinker) .
4- يبرد الكلنكر بامراره في مبردات خاصة .
5- يطحن الكلنكر بعد اضافة نسبة من الجبس اليه (أقل من 5%) ويتحول الى مسحوق ناعم يدعى السمنت.

هناك طريقتان لصناعة السمنت هما :-

1- الطريقة الرطبة:
تستعمل هذه الطريقة عندما تكون نسبة الرطوبة في المواد الخام عالية حيث يتم طحن و مزج المواد الخام بوجود الماء بنسبة حوالي 40 % .

2- الطريقة الجافة:
تستعمل هذه الطريقة عندما تكون المواد الخام صلدة بحيث لاتتفت بالماء وهي طريقة حديثة ويتم طحن ومزج المواد الاولية بحالتها الجافة .

مراحل تحول المواد الاولية الى السمنت:
في جميع طرق تصنيع السمنت تمر المواد الاولية بالمراحل الثلاثة التالية :-

أ - مرحلة تحول المادة الكلسية ($CaCo_3$) الى اوكسيد الكالسيوم (CaO) في درجة حرارة 950 م°.
ب - ذوبان المواد الرئيسية؛ اكاسيد الكالسيوم والسليكون والالمنيوم والحديد في درجة حرارة بين (1250 - 1350) م° وانصهارها.
جـ - مرحلة تكوين مواد جديدة من تداخل المواد المنصهرة بعد درجة 1350 م° تقريباً وهي عبارة عن:-
1- سليكات الكالسيوم الثلاثية (C_3S)
2- سليكات الكالسيوم الثناثية (C_2S)

3- الومينات الكالسيوم الثلاثية (C_3A)
4- الومينات الكالسيوم الحديدية (C_4AF)

مقارنة بين صناعة السمنت بالطريقة الجافة والطريقة الرطبة:

الطريقة الجافة	الطريقة الرطبة
1- تكون المواد الخام جافة 2- حجم الفرن صغير 3- كمية الوقود تكون اقل اي تكون اقتصادية 4- يصعب الحصول على مواد متجانسة عند الخلط 5- يفضل استعمالها في البلدان الباردة 6- طريقة حديثة ومفضلة حالياً	1- تكون المواد الخام رطبة 2- حجم الفرن كبير 3- كمية الوقود تكون اكثر اي تكون غير اقتصادية 4- يمكن الحصول على مواد متجانسة عند الخلط 5- يفضل استعمالها في البلدان الحارة 6- طريقة قديمة وغير مفضلة حالياً

الخواص الكيمياوية للسمنت:

التركيب الكيمياوي للسمنت :

يتكون السمنت من المركبات الرئيسية التالية :-

1- سليكات الكالسيوم الثلاثية (C_3S)
ويرمز له ب(C_3S) ---------- $3Cao.Sio_2$

وهي مسؤولة عن اعطاء القوة في الايام الـ 28 الاولى من عمر الخرسانة .

2- سليكات الكالسيوم الثنائية (C_2S)
ويرمز له ب(C_2S) ---------- $2\ Cao.Sio_2$

وتقوم بأغلاق الشقوق الشعرية في الخرسانة وكذلك تزيد من مقاومة شد الخرسانة .

3- الومينات الكالسيوم الثلاثية (C_3A)
ويرمز له بـ (C_3A) ---------- $3Cao.AL_2O_3$

وتتفاعل مع الماء بسرعة عند الخلط حيث تطلق حرارة عالية وتعطي القوة للخرسانة في اليوم الاول ولاتؤثر على القوة النهائية للخرسانة .

4 - الومينات الكالسيوم الحديدية (C_4AF)
ويرمز له بـ (C_4AF) ---------- $4Cao.AL_2O_3.Fe_2O_3$

وهي تتفاعل في الايام الاولى وتعطي حرارة عاليــة لكنها ابطأ من الومينـات الكالسيوم الثلاثية ويعتبر العنصرالاكثر خمولاً من بين العناصر الاربعة السابقة .

5- مركبات ثانوية على شكل اكاسيد البوتاسيوم والصوديوم والمغنيسيوم والقلويات.

وتتحكم نسب هذه المركبات في خواص السمنت ونوعه ويمكن السيطرة عليها بتحديد نسب مزج المواد الاولية الداخلة في صناعة السمنت.

الانواع الرئيسية للسمنت:

بالامكان اختيار نسب مختلفة من المواد الاولية اثناء صناعة السمنت لغرض الحصول على خواص مختلفة وحسب الحاجة حيث تتغير خواص السمنت اثنأء التميؤ بتغيير :-
أ- التركيب الكيمياوي للسمنت .
ب- درجة نعومة السمنت .

عموماً يمكن تصنيف السمنت البورتلاندي الى الانواع الرئيسية الخمسة التالية :-

1- السمنت البورتلاندي الاعتيادي (Type 1):
يستعمل هذا النوع في معظم المنشآت الخرسانية غير المعرضة لظروف قاسية كأملاح الكبريتات الموجودة في المياه الجوفية ويتم استعماله في حوالي 90 % من الاعمال الخرسانية .

2- السمنت البورتلاندي المعدل (Type 2):
يطلق هذا النوع حرارة اقل اثناء التميؤ ويتفاعل بشكل ابطأ تكون مقاومته افضل لتأثير الاملاح الكبريتية حيث يستعمل في المنشآت التي تكون كبيرة كدعامات الجسور والجدران الساندة الضخمة وكذلك في الاماكن المعرضة لتأثيرات الاملاح كمنشات البزل. يتكون السمنت البورتلاندي المعدل من 40 % من السمنت البورتلاندي الاعتيادي + 60 % من السمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة .

3- السمنت البورتلاندي سريع التصلب (Type 3):
ان مقاومة هذا النوع من السمنت لثلاث ايام تعادل مقاومة السمنت البورتلاندي الاعتيادي بعمر 7 يوم وتحصل هذه الزيادة في معدل اكتساب المقاومة بزيادة نسبة المركب (C_3S) في السمنت وزيادة نعومته .
يستعمل هذا النوع من السمنت عندما يراد الحصول على مقاومة مبكرة عالية لغرض رفع القوالب بسرعة او في معامل الكتل الجاهزة او في الاماكن التي لايمكن غلقها لفترة طويلة أو لغرض إجراء التصليحات المستعجلة .

4- السمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة (Type 4):
يستعمل هذا النوع في الكتل الخرسانية الضخمة كالسدود ويحتوي على نسبة اقل من المركبين (C_3A & C_3S) ونسبة اعلى من المركب (C_2S) مقارنة مع السمنت الاعتيادي وتكتمل مقاومة هذا النوع من السمنت بعمر (3) أشهر .

5- السمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات (Type 5):
يستعمل هذا السمنت في المنشآت الخرسانية المعرضة للتأثيرات الشديدة للأملاح كالمناطق الملامسة للتربة والمياه الجوفية وكذلك يستخدم في الموانئ والمنشآت المائية .

انواع اخرى من السمنت:

السمنت البورتلاندى الابيض :-

يصنع السمنت البورتلاندي الابيض بنفس طريقة السمنت الاعتيادي عدا أن الطين المستخدم في صناعته يحتوي على نسب قليلة من خامات الحديد والمغنيسيوم حيث أنها المسوؤلة عن أعطاء اللون الرمادي للسمنت وتحتاج صناعته الى درجات حرارة أعلى وكلفة طحن عالية ايضاً لذلك فأن كلفة صناعته تفوق كلفة صناعة السمنت البورتلاندي الاعتيادي .

السمنت الطبيعي :-

تطلق هذه التسمية على السمنت الذي نحصل عليه بمعالجة الصخور السمنتية الطبيعية بالحرارة والطحن ويمتاز بأحتوائه عل نسب قليلة من المركب (C_3S) لذلك يكون بطئ التصلب ويمتاز هذا النوع بكون استعمالاته قليلة لعدم التمكن من اجراء التعديلات على مكونات الخلط اثناء صناعته ولامتلاكه مقاومة بطيئة وقليلة نسبياً .

السمنت التمددي :-

يستعمل هذا النوع من السمنت عند الحاجة الى سمنت لايتغير حجمه بسبب الانكماش اثناء جفافه في الاعمار المبكرة ويتكون من (السمنت الاعتيادي + عامل تمددي + مثبت) وعادة يحصل التمدد عندما تكون الخرسانة رطبة لذلك فأن الخرسانة المصنعة من هذا السمنت تحتاج الى عناية وسيطرة عالية على المعالجة .

السمنت الألومينى :-

يتميز السمنت الالومينى (العالي الالومينيا) بلونه الغامق وسرعة تصلبه وتوليده لكميات كبيرة من الحرارة اثناء التميؤوكذلك يمتاز بمقاومته لتأثير المواد الكيمياوية .

يختلف السمنت الالومينى عن السمنت الاعتيادي بأنه غني بالألومينيا وبأحتوائه على نسبة أقل من أكاسيد الكالسيوم ويستعمل في الاجواء الباردة وعند الرغبة في الحصول على مقاومة مبكرة عالية وفي المنشآت البحرية .

يمتاز السمنت الالومينى بأن (80 %) من مقاومتة تتكون بعمر (24) ساعة ولايجوز استعماله في الاجواء الحارة وفي الكتل الخرسانية بسبب حرارة الاماهة الكبيرة المنبعثة من تفاعله مع الماء.

لقد اوقف انتاجه في اوربا بسبب النقصان في مقاومته بمرور الزمن وحصول انهيارات في الأبنية المستخدمة فيها .

السمنت سريع التصلب الممتاز:

يتم صناعة هذا النوع من السمنت من اضافة نسبة 2% (من مسحوق كلوريد الكالسيوم) الى السمنت سريع التصلب وبذلك تزداد سرعة عملية التماسك ويكون من الضروري صب الخرسانة المصنوعة منه خلال 20 دقيقة من الخلط كما ويجب حفظ السمنت في منطقة جافة لمنعه من التلف وعادة يستعمل هذا النوع من السمنت في الاجواء الباردة .

جدول يبين مركبات الانواع المختلفة من الاسمنت طبقا للمواصفات الامريكية

نوع الاسمنت	مركبات الاسمنت بالنسبة المئوية (%)			
	سليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S)	سليكات ثنائي الكالسيوم (C_2S)	ألومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A)	حديد ألومينات رباعي الكالسيوم (C_4AF)
نوع 1	55	19	10	7
نوع 2	51	24	6	11
نوع 3	56	19	10	7
نوع 4	28	49	4	12
نوع 5	28	42	4	9

الخواص الفيزياوية للسمنت:

هناك عدة خواص فيزياوية للسمنت منها :-

1- الوزن النوعي للسمنت.
2- نعومة السمنت .
3- القوام القياسي للسمنت .
4- التماسك الابتدائي والنهائي للسمنت.
5- فقدان وزن ألسمنت بالاحتراق.
6- ثبات السمنت .
7- حرارة الاماهة للسمنت .

الوزن النوعي للسمنت :-

هو نسبة بين وزن حجم معين من السمنت الى وزن نفس الحجم من الماء المقطر بدرجة حرارة 20 م° . يتراوح الوزن النوعي للسمنت بين (2.9 - 3.2) وتحدد باستخدام البكنوميتر و يستخدم الكيروسين بدل الماء لايجاد الوزن النوعي للسمنت وذلك لعدم تفاعله مع السمنت .

لايعتبرالوزن النوعي للسمنت دليل على نوعيته ويستعمل في :-

أ- حسابات تصميم الخلطات الخرسانية .
ب- تحديد وزن كميات المواد للخلطات الخرسانية .

نعومة السمنت :-

تبدأ عملية الاماهة (Hydration) عند سطح حبيبات السمنت فالمساحة السطحية للحبيبات تمثل المادة المتوفرة لهذه العملية وكلما أزدادت نعومة السمنت تزداد مساحته السطحية لذا فأن نعومة السمنت مفيدة للاغراض التالية :-

1- نعومة السمنت تزيد من سرعة اماهته وتقلل من زمن تماسكه .
2- تكون النعومة ضرورية لزيادة سرعة الحصول على المقاومة .
3- المسحوق الناعم يقوم بتغطية سطوح حبيبات الركام بصورة متكاملة .
4- تؤدي النعومة الى تحسين قابلية تشغيل الخرسانة .
5- النعومة تقلل من حدوث ظاهرة النضح (Bleeding) .

ويجب السيطرة على درجة نعومة السمنت بدقة وعناية حيث ان للنعومة العالية جداً اضرار اهمها:-

1- تكون كلفة الطحن عالية .
2- السمنت الناعم اكثر تضرراً عند التعرض للجو .
3- السمنت الناعم يتفاعل بشكل اكبر مع الركام الذي يتفاعل مع القلويات الموجودة في السمنت.
4- العجينة السمنتية تبدي أنكماشاً اعلى مما يجعلها اكثر عرضة للتشققات .
5- يزداد محتوى الماء المطلوب لعمل عجينة السمنت .

طرق قياس نعومة السمنت :-

هناك طريقتان لقياس نعومة السمنت وهي :-

1- طريقة المناخل (Sieve Method).
2- طريق المساحة السطحية (Specific Surface Method).

1- طريقة المناخل (Sieve Method) :-

في هذه الطريقة يتم ايجاد نسبة الوزن المتبقي على منخل معين الى الوزن الكلي للنموذج ويختلف قياس المنخل حسب المواصفات القياسية المعتمدة .

أ- حسب المواصفات البريطانية يستعمل منخل رقم 170 قياس 90 مايكرون وهذه النسب المتبقية تكون :-

1- للسمنت البورتلاندي الاعتيادي ≤ 10%
2- للسمنت البورتلاندي سريع التصلب ≤ 5%

ب- حسب المواصفات الامريكية يستعمل منخل رقم 200 قياس 75 مايكرون وهذه النسب المتبقية تكون :-
للسمنت البورتلاندي الاعتيادي ≥ 22%

لايفضل استخدام هذه الطريقة حالياً كما أنها قد أهملت في بعض الدول للاسباب التالية :-

- لاتعطي فكرة عن نعومة وحجم الحبيبات العابرة من المناخل .
- لانسداد فتحات شبكة المناخل .

2- **طريقة ايجاد المساحة السطحية (Specific Surface Method):**

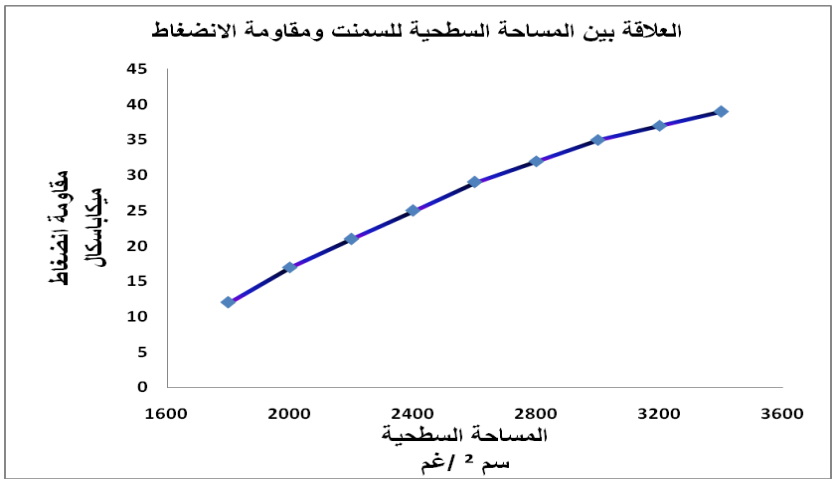
تعتبر المساحة السطحية للسمنت من اهم خواصها الفيزياوية حيث تحدد مدى نعومته وبقدر مايكون السمنت مطحوناً بقدر ماتكون المساحة السطحية اكبر .
ويتم في هذه الطريقة ايجاد المساحة السطحية لحبيبات السمنت بـ (سم²/غم) من السمنت وهناك ثلاث طرق رئيسية لذلك وهي :-

- **طريقة (Wagner) الامريكية:**
  يتم في هذه الطريقة امرار اشعة ضوئية خلال محلول حبيبات السمنت والكيروسين حيث تقاس درجة تعكر المحلول ويعتبر قياس للمساحة السطحية للحبيبات .

- **طريقة نفاذية الهواء لـ (Lea and Nurse) البريطانية:**
  تعتمد هذه الطريقة على العلاقة بين انسياب الهواء خلال طبقة معدة من السمنت والمساحة السطحية لوحدة الوزن لهذه الطبقة حيث تقاس المساحة السطحية بقياس نفاذية طبقة السمنت .

- **طريقة نفاذية الهواء لـ (Blaine) الامريكية:**
  ويتم فيها قياس الوقت اللازم لمرور كمية محددة من الهواء خلال طبقة معدة من السمنت ذات مسامية معينة ومن خلال هذا الوقت يتم حساب المساحة السطحية .

وقد حددت المواصفات البريطانية المساحة السطحية للسمنت بطريقة (Lea and Nurse) كما يلي :-
السمنت البورتلاندي الاعتيادي ≥ 2250 سم²/غم
السمنت سريع التصلب ≥ 3250 سم²/غم



شكل يوضح العلاقة بين المساحة السطحية للسمنت (النعومة) ومقاومة انضغاط الخرسانة

القوام القياسي للسمنت :-

أن تحديد القوام القياسي للسمنت يعني تحديد كمية الماء القياسية اللازمة لأعطاء قوام جيد لعجينة السمنت وتقاس بالنسبة المئوية للماء اللازم لتكوين عجينة تسمح للطرف الاسطواني من جهاز فايكات بألنفاذ داخل عجينة السمنت لمسافة 6 ± 1 ملم من قاع قالب فايكات عند فحص السمنت. حدود القوام القياسي 26 % - 34%.

التماسك الابتدائي والنهائي لعجينة ألسمنت :

عند خلط الماء والسمنت تتكون عجينة السمنت وهذه العجينة تفقد لدونتها تدريجياً بمرور الزمن وعندما تفقد لدونتها تماماً بحيث تستطيع ان تتحمل ضغطاً يقال انها تماسكت .

ويحصل التماسك على مرحلتين :-

1- التماسك الابتدائي Initial setting .
2- التماسك النهائي Final setting .

ان زمن التماسك الابتدائي يشير الى بداية تماسك عجينة السمنت اما زمن التماسك النهائي فيشير الى بداية فترة التصلب واكتساب المقاومة.

تكمن اهمية معرفة وقت التماسك في الاعمال الخرسانية في ضرورة بقاء الكتلة الحديثة الخلط في حالة لدنة لفترة كافية لاتمام عملية النقل والصب والرص تحت ظروف العمل في بعض الاعمال وفي اعمال اخرى فان من الناحية الاقتصادية ان تتصلب الخرسانة وتكتسب مقاومة في فترة زمنية معقولة بعد صبها.

قياس زمن التماسك :-

يقاس زمن التماسك الابتدائي والنهائي لعجينة السمنت باستخدام عجينة السمنت ذات القوام القياسي وباستعمال جهاز فايكات (Vicat apparatus).

المواصفات القياسية العراقية لزمن التماسك للسمنت الاعتيادي :-

زمن التماسك الابتدائي ≤ 45 دقيقة .
زمن التماسك النهائي ≥ 10 ساعات .
ويمكن حساب زمن التماسك النهائي من معرفة زمن التماسك الابتدائي كما يلي :-
زمن التماسك النهائي = (زمن التماسك الابتدائي بالدقيقة * 1.2) + 90 دقيقة

العوامل المؤثرة على زمن تماسك السمنت:-

1- التركيب الكيمياوي للسمنت .
2- المحتوى المائي لعجينة السمنت .
3- نعومة السمنت .
4- درجة حرارة المحيط والرطوبة النسبية .

فقدان وزن السمنت بالاحتراق (Loss on ignition):

ان فقدان وزن السمنت البورتلاندي بالأحتراق يكون بأخذ نموذج من السمنت وحرقه الى ان يصبح احمر اللون وحساب فقدانه للوزن والدرجة الحرارية هي 1000 درجة مئوية تقريباً. ان فقدان الوزن بالاحتراق يكون دلالة على وجود تميؤ سابق للسمنت بسبب خزنه لمدة طويلة او خزنه بصورة غير صحيحة .

ان الحد الاعلى المسموح به لفقدان الوزن بالأحتراق ≤ 4 % . ويعتبر هذا الاختبارافضل طريقة للتحقيق من تاريخ صلاحية السمنت للاستعمال (Expire Date).

ثبات السمنت (Soundness):

الثبات لعجينة السمنت المتصلب هي القابلية في الحفاظ او المحافظة على الحجم بعد التصلب. ويتميز السمنت بعدم الثبات بسبب حصول التمدد في بعض مكوناته مما يؤدي الى حصول تشققات وخاصة اذا كانت العجينة مقيدة . وتشترط المواصفات ان لايزيد تمدد عجينة السمنت (عدم ثبات السمنت) عن 10 ملم .

اسباب عدم الثبات :

يحصل عدم الثبات عادة نتيجة لبطأ في عملية اماهة السمنت وتكون بسبب :-

1- وجود الجير الحر (Free Lime)
2- وجود المغنيسيا (Mgo)
3- وجود سلفات الكالسيوم.

ان عدم الثبات يظهر بعد فترة شهور من الصب فأن من الضروري فحص ثبات السمنت مبكراً .

ويمكن تقليل عدم الثبات كما يلي :-

1- تقليل كمية المغنيسيا الى اقل من 0.5 % .
2- زيادة نعومة السمنت .
3- تهوية السمنت لعدة ايام .

حرارة الاماهة للسمنت (Heat of Hydration)

حرارة الاماهة هي الحرارة الناتجة من تفاعل السمنت مع الماءوتقاس بـ (سعرة / غم). ان عملية الاماهة داخل الكتل الخرسانية الكبيرة (السدود والخزانات) تكون مصحوبة بأرتفاع كبير في درجات الحرارة والسطح الخارجي لها يفقد قسم من الحرارة لذا سينشأ انحدار شديد في درجات الحرارة بين داخل الخرسانة وخارجها وفي التبريد اللاحق تنشأ اجهادات شد عالية تسبب تشققات خطيرة في الكتل الخرسانية .
اما في الاجواء الباردة فأن انبعاث الحرارة يمنع تجمد الماء داخل المسامات الشعرية للخرسانة ومن المهم معرفة معدل سرعة انبعاث الحرارة الناتجة للانواع المختلفة من السمنت لغرض اختيار السمنت المناسب فمثلاً يستعمل السمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة في السدود والكتل الخرسانية بينما يستعمل السمنت سريع التصلب في الاجواء الباردة .

تعتمد حرارة الاماهة على العوامل التالية :-

1- التركيب الكيمياوي للسمنت .
2- نعومة السمنت .
3- درجة حرارة الجو .
4- كمية السمنت في الخلطة .

ان السمنت البورتلاندي الاعتيادي يطلق مابين (80- 100) سعرة حرارية لكل غرام من السمنت المتفاعل مع الماء .

الخواص الميكانيكية للسمنت:

أ- قوة التحمل الانضغاطية :-

تعبر قوة التحمل الانضغاطية للسمنت المتصلب من اهم الخواص اللازمة للاغراض الانشائية حيث ان قوة تحمل الخرسانة تعتمد على :-

1- مقاومة عجينة السمنت .
2- مقدار تلاصق العجينة مع حبيبات الركام .
3- مقاومة الركام.

فحص مقاومة انضغاط السمنت:

هناك طريقتان لقياس وفحص مقاومة السمنت يستعمل في احدهما المونة (سمنت ورمل) وفي الثانية الخرسانة, ولاتستعمل عجينة السمنت الصافية في الفحص للاسباب التالية :-

1- صعوبة تشكيلها في القوالب .
2- حصول تغيرات حجمية كبيرة تؤدي الى الاختلاف في نتائج الفحص .

يتم فحص مقاومة انضغاط السمنت بأستخدام مكعبات صغيرة بقياس (7) سم و (5) سم حسب المواصفات البريطانية والامريكية على التوالي وتستخدم مونة السمنت والرمل القياسي بنسبة (1:3) وبنسبة ماء (10 %) من مجموع وزني السمنت والرمل .

مواصفات الرمل القياسي .-

1- يكون من الكوارتز .
2- يكون خالي من المواد العضوية.
3- يمر من المنخل قياس (850) مايكرون ولايزيد المار منه من منخل قياس (600) مايكرون عن (10%) .

حددت المواصفات البريطانية لمقاومة انضغاط السمنت كما يلي :-

نوع السمنت	مقاومة الانضغاط بعمر 3 يوم ميكا باسكال (ن/ملم²)	مقاومة الانضغاط بعمر 7 يوم ميكا باسكال (ن/ملم²)
سمنت بورتلاندي اعتيادي	15	23
سمنت سريع التصلب	21	28
السمنت البورتلاندي المعدل	10	17
السمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات	8	15

تعتمد مقاومة انضغاط عجينة السمنت عدة عوامل منها :-

1- التركيب الكيمياوي للسمنت.
2- درجة حرق الكلنكر
3- نعومة السمنت
4- درجة تهوية السمنت

ان معدل اكتساب المقاومة يكون كبيرا في الفترة الاولى للتصلب وينقص بمرور الوقت.
تزداد مقاومة الخرسانة وكثافته بمرور الزمن نتيجة استمرار التفاعلات الكيمياوية لحبيبات السمنت وقد تمتد هذه الزيادة لعدة سنين.

ب - مقاومة الشد للسمنت :-

لا تصمم الخرسانة لمقاومة قوى الشد بسبب ضعف تحملها لاجهادات الشد وعادة يستعمل الحديد داخل الخرسانة لمقاومة قوى الشد التي تتعرض لها الاجزاء الخرسانية . ويعتبر قياس تحمل الشد للخرسانة مهماً لتحديد الحمل الذي تحصل عنده التشـققات حيث ان الشـقوق تؤثر على مقاومة الخرسانة للعوامل الجوية كما ان تحديد الشقوق مهم في المنشآت الحافظة والناقلة للسوائل.
ويمكن فحص مقاومة السمنت للشد بأستخدام مونة السمنت والرمل بنسبة (1:3) وبمحتوى مائي بقدر القوام القياسي للسمنت وتصب في قوالب بشكل ∞ ويشترط ان يكون الرمل المستعمل قياسياً هذا وتصب قوالب الفحص باسلوب قياسي وتعالج لمدة 24 ساعة اما اسلوب الفحص فيتم بطريقة تسليط شد مباشر على النموذج وذلك بسحبه من الطرفين من خلال فكين يمسكان بالنهايات العريضة للنموذج وتحدد المواصفات البريطانية الحد الادنى لمقاومة الشد ليوم واحد للسمنت سريع التصلب بـ (2.1) ميكاباسكال مأخوذة كمعدل لستة نماذج .

الركام

الركام :-

هو حبيبات صخرية متدرجة في الحجم منها صغيرة وهي الرمل واخرى كبيرة وهي الحصى ويشكل الركام حوالي (60 - 80) % من حجم الخرسانة.

فوائد استخدام الركام :-

1- يعطي للكتلة الخرسانية استقرارية ومقاومة للقوى الخارجية .
2- يقلل التغيرات الحجمية أي يعطي ثبات للخرسانة .
3- يعطي الخرسانة متانة افضل .
4- تعتبر مادة اقتصادية مقارنة مع السمنت .

مواصفات الركام الجيد :-

1- تكون حبيباته شبه كروية ومتدرجة .
2- يمتاز بالثبات .
3- خالي من المواد العضوية والاملاح .
4- لايقل وزنه النوعي عن (2.35) .
5- ان لاتزيد نسبة امتصاص الركام عن (5 %) .

تصنيف الركام :-

يصنف الركام كما يلي :-

1- يمكن تصنيف الركام نسبة الى حجم حبيباته .
2- يمكن تصنيف الركام نسبة الى منشأه .
3- يمكن تصنيف الركام نسبة الى محتواه المائي .

تصنيف الركام نسبة الى حجم جبيباته :-

يصنف الركام نسبة الى حجم حبيباته الى:-

أ- الركام الخشن Coarse Aaggregate:

هو الركام الذي يشكل المتبقي منه على منخل رقم (4) أكثر من 95% ويكون بعدة اشكال وكما يلي :-

1- حصى غير مكسر.
2- حصى مكسر او حجر مكسر.
3- حصى مكسر جزئياً.

ب- ركام الناعم Fine Aggregate:

هو الركام الذي يشكل العابر منه من منخل رقم (4) أكثر من 95% ويكون بشكلين :-

1- الرمل الطبيعي.
2- رمل الحجر المكسر او الحصى المكسر.

تصنيف الركام نسبة الى منشأه

يمكن تصنيف الركام نسبة الى منشأه الى :-

أ- الركام الطبيعي :-

هو الركام الذي يتكون من مواد طبيعية تستعمل مباشرة او بعد اجراء بعض العمليات البسيطة عليه كالغسل والتدريج ومن أنواعه الركام السليكي الطبيعي كالحصى والرمل ويمكن تقسيم الصخور التي تتكون منها الى :-

- ✓ **الصخور النارية كالجرانيت والبازالت**

- ✓ الصخور الرسوبية كالحجر الجيري والرملي والطيني
- ✓ الصخور المتحولة كالرخام.

ب- **الركام الصناعي** :-
هو الركام الذي يتكون من مواد منتجة بطرق صناعية مثل الطابوق المكسر أو كسر الكتل الحجرية او خبث الافران العالية او الطين االممدد بفعل الحرارة .

تصنيف الركام نسبة الى المحتوى المائي :-

1- ركام جاف كلياً ,(Fully Dry or Oven Dry).
يجفف الركام في الفرن لمدة 24 ساعة بدرجة حرارة (100—110)^0 م .
2- ركام جاف بالهواء (Air Dry).
3- ركام مشبع وجاف السطح (Saturated Surface Dray) (S.S.D).
4- ركام رطب (Wet or Damp or Moist).

وتعتبر الحالة الثالثة (S.S.D) حالة مثالية للخلطات الخرسانية حيث لاتمتص الماء من ولا تضيف الماء الى الخلطة الخرسانية .

مثال 1 :
تم وزن نموذج من الرمل وهو في الحالة الرطبة (Damp) وكان وزنه 1000غم ثم تم تجفيفه للحصول على حالة مشبع وجاف السطح فأصبح الوزن 925 غم وبعدها تم تجفيفه في الفرن بدرجة 110 م ولفترة 24 ساعة فأصبح الوزن 900 غم .

المطلوب ايجاد مايلي :-
أ- الامتصاص الكلي ب- الرطوبة السطحية جـ الرطوبة الكلية

الحل :

$$\text{أ- الامتصاص الكلي} = \frac{900 - 925}{900} * 100 = 2.27\ \%$$

$$\text{ب- الرطوبة السطحية} = \frac{1000 - 925}{900} * 100 = 8.33\ \%$$

$$\text{جـ الرطوبة الكلية} = \frac{1000 - 900}{900} * 100 = 11.11\ \%$$

نسبة الفراغات في الركام (Void Ratio) :

$$\text{Void Ratio} = 100 * \left(1 - \frac{\text{Bulk density (b)}}{\rho * \text{Unit Weight of Water}} \right)$$

حيث ان -
ρ = الوزن النوعي الظاهري للركام المجفف بالفرن .
b = الكثافة الكلية للركام المجفف بالفرن مرصوص ام غير مرصوص .
ملاحظة* كلما قلت هذه النسبة تزداد الكثافة الكلية .

مثال 2:-

احسب نسبة الفراغات لنموذج من الحصى من المعلومات المختبرية التالية اذا كانت لديك المعلومات التالية.

1- الكثافة الكلية للركام = 1650 كغم / م^3

2- الوزن النوعي الظاهري للركام = 2.6

$$\text{نسبة الفراغات Void Ratio} = 100 * \left(1 - \frac{\text{Bulk density (b)}}{\rho * \text{Unit Weight of Wate}}\right)$$

$$\text{Void Ratio} = 100 * \left(1 - \frac{1650}{2.6 * 1000}\right)$$

$$\text{Void Ratio} = 36\ \%$$

طرق اخذ نماذج الركام:

ان العينة المستعملة في فحوصات الركام يجب أن تمثل بصورة صحيحة الركام المأخوذ منه ولايجوز أخذ العينة من القمة (حبيبات ناعمة) اومن القعر (حبيبات خشنة) ويتم أخذ (10) عينات من مناطق مختلفة من الركام بحيث تكون نسبة الحبيبات الناعمة والخشنة متكافئة قدر الامكان وتعتمد كمية الركام المأخوذة على الحجم الاعلى للركام وكما يلي:-

الحجم الاعلى لمقاس الحبيبات الموجودة في العينة (ملم)	الحد الادنى لوزن العينة المجهزة للفحص (كغم)
25 واكبر	50
اصغر من 25 واكبر من 5	25
5 واصغر	13

عندما تكون كمية العينة المأخوذة كبيرة يمكن تقليل الكمية بطريقتين هما :-

1- التقسيم النصفي .

2- التقسيم الربعي .

وتستمر عملية التقسيم لحين الحصول على الكمية المناسبة للنموذج الذي يستعمل في ألفحوصات المختبرية.

خواص الركام:

للركام عدة خواص مهمة تؤثر بشكل كبير على خواص الخرسانة المنتجة ومن هذه الخواص :-

1- الخواص الكيمياوية:

بقدرماتكون الصخور الام التي يتكون منها الركام ذات تركيبة ثابتة بقدر مايكون الركام افضل ويشترط في الركام :-

- **ان لايلين اويتحلل تحت تأثير الماء .**
- **ان لا يتفاعل مع السمنت كيمياوياً .**
- **ان لا يقلل من حماية حديد التسليح ضد التآكل والصدأ .**

2- الخواص الفيزياوية:

تشمل الخواص الفيزياوية للركام ما يلي :-

أ- شكل الركام

ب- الملمس السطحي للركام
جـ - مسامية وقابلية امتصاص الركام
د - الوزن النوعي للركام
هـ - كثافة الركام

أ - شكل الركام:
يعتبر شكل الركام من الخواص التي تؤثر في خواص الخرسانة أثناء الخلط والرص وبعد التصلب ويأخذ الركام أشكال مختلفة منها :-
المدور او(الكروي), غير المنتظم , ذو الزوايا , الرقائقي أو (القرصي), المستطال ان افضل الاشكال الركام لأعمال الخرسانة هي المدور ثم غير المنتظم ثم ذو الزوايا ولايعتبر الركام الرقائقي او المستطال صالحا لأعمال الخرسانة .

ان شكل الركام يؤثر على خواص الخرسانة في النواحي التالية :-
- **قابلية تشغيل الخرسانة.**
- **امكانية الرص ومحتوى الفجوات.**
- **قابلية التحمل.**

ب - الملمس السطحي للركام.
يؤثر الملمس السطحي لحبيبات الركام على قابلية تشغيل الخرسانة ومقاومتها وقابلية سطح الخرسانة لامتصاص الرطوبة وكلما كان الملمس السطحي خشناً كلما زادت قوة التلاصق بين حبيبات الركام وعجينة السمنت اما الحبيبات ذات الملمس السطحي الناعم فأنها تقلل الاحتكاك بين أجزاء الخلطة الخرسانية وتزيد قابلية تشغيلها .

جـ - مسامية وقابلية امتصاص الركام:
توجد مسامات في حبيبات الركام ولهذه المسامات أهمية كبيرة في تحديد ميزات هذه الحبيبات فمسامية ونفاذية وامتصاص الركام تؤثر في خواص الخرسانة بالنواحي التالية :-
1- التلاصق بين عجينة السمنت والركام .
2- مقاومة الخرسانة للأنجماد والذوبان .
3- مقاومة الخرسانة للتآكل .
4- مسامية الخرسانة .

أن كمية ومعدل سرعة نفوذ الماء الى داخل المسامات يعتمد على :-
أ- مقاس المسامات.
ب- استمراريتها واتصالها مع بعضها.
جـ حجمها الكلي.

د- الوزن النوعي للركام:
ان الوزن النوعي للركام : هو النسبة بين وزن حجم معين من الركام الى وزن نفس الحجم من الماء المقطر الخالي من الفقاعات الهوائية بدرجة حرارة 20±1 م° .

انواع الوزن النوعي للركام
اعتمادا على صيغة احتساب المسامات النافذة والكتيمة ضمن حجم حبيبات الركام يقسم الوزن النوعي الى ثلاثة انواع وهي :-

1 - الوزن النوعي الحقيقي (المطلق):
هو نسبة وزن حجم معين من الركام بأستثناء المسامات النافذة وغير النافذة (الكتيمة) الى وزن نفس الحجم من الماء المقطر . وهذا النوع لايفيد الخرسانة لأن الركام لا يستعمل كمسحوق في اعمال الخرسانة .

2 - الوزن النوعي الكلي:
هو نسبة وزن حجم معين من الركام بحيث يشمل المسامات النافذة وغير النافذة (الكتيمة) الى وزن نفس الحجم من الماء المقطر . وهذا النوع أيضاً لايفيد الخرسانة لأن المسامات النافذة تمتلىء بالماء و يعتبر جزءاً من الركام .

3 - الوزن النوعي الظاهري:
هو نسبة وزن حجم معين من الركام بحيث يشمل المسامات غير النافذة (الكتيمة) فقط الى وزن نفس الحجم من الماء المقطر. وتستند حسابات الخرسانة على الركام بحالة مشبع وجاف السطح فالماء الموجود في المسامات النافذة للركام يكون غير فعال ولايشارك في التفاعلات الكيمياوية ويعتبر جزءاً من حجم الركام.

لذلك فان حسابات الخرسانة تعتمد على (الوزن الظاهري للركام), وتتراوح قيمة الوزن النوعي للركام الجيد بين (2.6 -- 2.7) .

ويستخدم الوزن النوعي للركام في :-
1- حساب كميات الركام اللازم لحجم معين من الخرسانة
2- يستخدم في تصميم الخلطات الخرسانية .

يعتمد الوزن النوعي للركام على :-
1- الوزن النوعي للمعادن التي يتكون منها الركام .
2- نسبة المسامات في الركام .
3- المحتوى الرطوبي للركام.

هـ - الكثافة الكلية للركام:
تعرف الكثافة الكلية للركام بأنها وزن حجم معين من الركام بالهواء في درجة حرارة معينة وتقاس بـ (كغم/م^3)

تعتمد الكثافة الكلية للركام على :-
1- تدرج الركام .
2- شكل حبيبات الركام .
3- مقدار الرص .
4- محتوى الرطوبة .
وبصورة عامة فأن الركام يتواجد في حالتين اما في حالة مرصوصة أو في حالة سائبة
وتستعمل الكثافة الكلية في حسابات تحويل الاوزان الى حجوم او بالعكس .

الخواص الميكانيكية للركام

كلما كانت مقاومة ضغط حبيبات الركام اعلى كلما تحسنت مقاومة ضغط الخرسانة وخواصها الاخرى وتعتبر في العادة مقاومة الحجارة الام التي يستخرج منها الركام هي المعيار لمقاومته حيث أن مقاومة انضغاط الركام حينما يكون في حدود (80-100) نيوتن/ملم^2 يعتبر قيمة معقولة اذ يفضل الركام ذو المقاومة والمرونة المتوسطة لانه يفيد في تقليل التغيرات الحجمية وبدوره يقلل من تسليط الاجهادات على العجينة السمنتية وبذلك تزداد المقاومة .
ان مقاومة الركام الاعتيادي المستخدم في الخرسانة يكون في الغالب اعلى من مقاومة الخرسانة الناتجة .

يجب دراسة الخواص الميكانيكية للركام للاغراض التالية :-
1- لمعرفة مدى صلاحية الركام لتصميم الخرسانة المعرضة للاحمال الصدمية والاحمال المسببة لقوى البري او التآكل وخاصة في مشاريع الطرق او المنشآت الصناعية .
2- لمعرفة مدى صلاحية الركام للاستعمال في تصميم طبقات الطرق الاسفلتية .
3- عند استخدام الركام الصناعي .

هناك عدة اختبارات في مجال فحص مقاومة الركام من اهمها :-

أ- مقاومة الركام الخشن للتهشيم (Crushing Value) :-

الغرض من هذه التجربة هو تحديد مدى مقاومة هذا النوع من الركام لدى خضوعه لعملية التهشيم والجهاز المستعمل في هذا الاختبار هو عبارة عن اسطوانة من الصلب مفتوحة الطرفين لها مكبس وقاعدة من الصلب ويستعمل في هذا الاختبار الركام المار من المنخل (14) ملم والمحجوز على المنخل (10) ملم ثم توضع العينة في مكيال اسطواني خاص بالتجربة ويتم تجفيفها في فرن من 100 الى 110 درجة مئوية . بعدها يتم تبريد العينة وليكن وزنها (أ) وتتمثل مراحل التجربة في وضع الاسطوانة في مكانها على القاعدة ثم تملأ بالركام على ثلاث طبقات وتدك كل طبقة 25 مرة بالقضيب الحديدي ثم يسوى السطح ويوضع عليه المكبس . بعد ذلك توضع الاسطوانة بين فكي جهاز تجربة الضغط وتحمل ببطء حتى يصل الى 40 طن ثم يرفع الحمل وينخل الركام ويعين المار منه من منخل (2.82) ملم حسب المواصفات الامريكية او (2.36) ملم حسب المواصفات البريطانية وليكن وزنه (ب) .

يتم حساب معامل التهشيم بالطريقة التالية :-

$$\text{معامل التهشيم} = \left(\frac{\text{ب}}{\text{أ}}\right) * 100$$

على ان تتراوح النتيجة بين 7.5% و 12.5% .

ب - مقاومة الصدم (Impact Value) :-

يمكن اختبار صلابة الركام عن طريق تعيين قيمة مقاومة الصدم وذلك حسب المواصفات البريطانية BS 1975- 812 ويجري هذا الاختبارعلى الركام المار من منخل 14 ملم والمحجوز على منخل 10 ملم بحيث تكون الكمية المجهزة كافية لاختبارين . تملأ الاسطوانة القياسية المعدنية الخاصة بالتجربة على ثلاث طبقات متساوية الارتفاع وترص بواسطة قضيب حديدي وذلك بالدق 25 ضربة. يتم وزن العينة ويعبرعنها بالوزن (أ) ثم يتم ادخالها في جهاز مقاومة الصدمات للركام ثم ترفع المطرقة المعدنية الخاصة بالجهاز (13.5 – 14) كغم وتترك لتهبط من ارتفاع 380 ملم على سطح العينة الموجودة في الاسطوانة الفولاذية تكرر هذه العملية (15) مرة بفترات كل ثانية واحدة وبعد ذلك تنخل العينة بمنخل 2.36 ملم منخل رقم (7) في المواصفات البريطانية ويوزن الجزء المار من المنخل وليكن وزنه (ب) كما يوزن المتبقي على المنخل على ألا يقل مجموعهما على 1 غم عن العينة الاصلية . هذا والا فأن هذه العينة تهمل ونقوم بأعادة التجلربة من جديد هذا ويتم حساب قيمة مقاومة الصدم كالتالي :-

$$\text{مقاومة الصدم} = \left(\frac{\text{ب}}{\text{أ}}\right) * 100$$

حدود المواصفات :-

أ- أن (مقاومة الصدم) يجب إن لا تتجاوز (30 %) عندما يكون الركام مستعملاً في الخرسانة المستعملة للأسطح المعرضة للتآكل كالطرق .

ب- كما أن (مقاومة الصدم) يجب أن لا تتجاوز (45 %) عندما يكون الركام مستعملاً في الأنواع الأخرى من الخرسانة كالأبنية .

جـ- مقاومة التآكل (Abrasion Resistance) :-

يعكس هذا الاختبار مقاومة الركام لعمليتي التآكل والبري بالاحتكاك حيث أن نتائجه تظهر علاقة جيدة بالتآكل الفعلي للركام عند استعماله في الخرسانة. ويتم الفحص باختبار(لوس أنجلس للتآكل Abrasion Test Los - Angeles) حيث يوضع ركام ذو تدرج معين في اسطوانة معدنية مع كرات فولاذية وتدورالاسطوانة حول محور افقي ان عملية تدحرج وتساقط الركام والكرات تسبب بري وتآكل الركام بالاحتكاك والتساقط وبعد 500 دورة تفتح الاسطوانة وتنخل على منخل رقم 12 (1.7 ملم) مع غسلها بالماء اما المواد المتبقية في المنخل فتجفف في درجة 110 م ° ثم توزن .

يتم حساب نسبة التآكل كالتالي :-

$$\text{نسبة التآكل} = \frac{\text{(الوزن المار من منخل 12)}}{\text{الوزن الاصلي}} * 100$$

حدود المواصفات :-

أ- أن (نسبة التآكل) يجب إن لا تتجاوز (30 %) عندما يكون الركام مستعملاً في الخرسانة المستعملة للأسطح المعرضة للتآكل كالطرق .
ب- كما أن (نسبة التآكل) يجب أن لا تتجاوز (50 %) عندما يكون الركام مستعملاً في الأنواع الأخرى من الخرسانة كالأبنية .

مثال :-
تم فحص لوس أنجلس على نموذج من الحصى وزنه 5000 غرام وبعد إجراء الفحص تم نخل النموذج على المنخل قياس (1.7 mm) فكان الوزن المار 1200 غرام .

المطلوب :-
أ- أيجاد نسبة التآكل.
ب- تحديد مدى صلاحية الركام لأعمال خرسانة الطرق ؟

الحل :- أ- إيجاد نسبة التآكل

$$\text{Abrasion Value (نسبة التآكل)} = \frac{\text{Wt. of Agg. Passing No.12(1.7 mm)}}{\text{Wt. of Agg.}} * 100$$

$$\text{Abrasion Value (نسبة التآكل)} = \frac{1200}{5000} * 100 = \%24$$

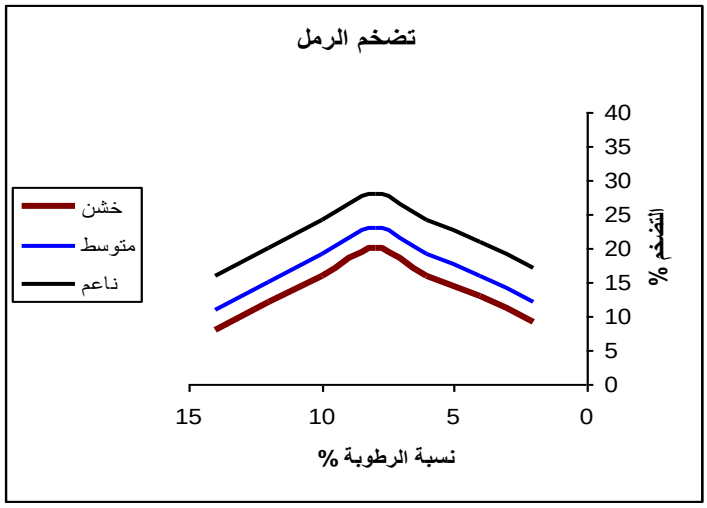
ب - نسبة التآكل = 24 % وهي اقل من 30 % لذا فأن الركام يصلح لأعمال خرسانة الطرق.

تضخم الرمل :

هو الزيادة الحاصلة في حجم وزن معين من الرمل نتيجة وجود طبقة رقيقة من الماء الفائض على سطوح حبيباته مما يجعلها تبتعد عن بعضها البعض .

تتناسب كمية التضخم مع :-
1- درجة نعومة الرمل .
2- المحتوى الرطوبة للرمل .

فالرمل الناعم يتضخم أكثر من الرمل الخشن وفي بعض الأحيان تصل الزيادة في الحجم إلى (40%) ولهذا لايفضل أن تكون نسب خلط الخرسانة بالحجم .



شكل يوضح العلاقة بين نسبة الرطوبة وتضخم الرمل

كيفية قياس تضخم الرمل :-

1- يملأ إناء برمل رطب وهو في حالة سائبة (أي بدون رص) ويقاس الارتفاع (Lm) .

2- يفرغ الإناء ويملأ إلى ثلثه بالماء .

3- يعاد الرمل إلى الإناء مع الماء ويتم تحريك المحلول باستمرار ويقاس الارتفاع الصافي للرمل (Ls).

$$\text{Bulking (التضخم)} = \frac{Lm - Ls}{Ls} * 100$$

مثال :-

في تجر بة لقياس تضخم الرمل تم استخدام إناء مملوء بالرمل ارتفاعه 20 سم وبعد تفريغ الرمل وملئه إلى الثلث بالماء ثم إعادة الرمل إليه مع التحريك المستمر وجد بأن ارتفاع الرمل أصبح 16 سم , أحسب مقدار تضخم الرمل ؟

Lm = 20 cm

Ls = 16 cm

$$\text{Bulking (التضخم)} = \frac{20 - 16}{16} * 100$$

$$\text{Bulking (التضخم)} = \%\ 25$$

مثال :-

مشروع انشائي يحتاج الى 24000 م³ من الرمل و 48000 م³ من الحصى فاذا علمت ان مقدارالتضخم في الركام هو 25 % فما هي كمية المواد المطلوب جلبها الى موقع العمل؟

بما ان التضخم يحصل في الرمل فقط لذا فان كمية المواد المطلوب جلبها الى موقع العمل هي:-

$$\text{كمية الرمل} = 24000 + 24000 * \left(\frac{25}{100}\right) = 30000\ م^3$$

كمية الحصى = 48000 م³

تدرج الركام:

تدرج الركام يعني تصنيف الركام نسبة الى مقاس حبيباته وتتم بواسطة التحليل المنخلي. والتحليل المنخلي هي عملية تقسيم الركام الى أجزاء يتكون كل منها من حبيبات متماثلة المقاس وتكون بحدود مقاسات فتحات المناخل وتتألف المناخل المستعملة من متسلسلة يكون مقاس الفتحة مساوي الى نصف مقاس الفتحة للمنخل التالي الاكبر .

فوائد تدرج الركام :-

1- للسيطرة على كثافة الخرسانة .
2- للحصول على قابلية تشغيل جيدة .
3- لمعرفة مدى مطابقة الركام للمواصفات القياسية العالمية .
4- لمعرفة الحجم الاعلى للركام .
5- لمعرفة معامل النعومة للركام .
6- لمعرفة كمية السمنت المستخدم في المتر المكعب الواحد من الخرسانة (معادلة تقريبية).

$$C = \frac{550}{5\sqrt{d}}$$

حيث ان:
d = المقاس الاقصى للركام بـ (mm)

معامل النعومة (Fineness Modulus)(F. M):

هو مجموع النسب المئوية المتبقية المتجمعة على سلسلة المناخل (38 , 19 , 9.5 , No.4 , No. 8, No.16, -No.30, No.50, No.100) مقسمة على 100 .

- **ويعبر معامل النعومة عن متوسط حجم الركام المستعمل وكلما ازداد تزداد خشونة الركام.**
- **ويمكن الاستفادة منه في معرفة التغيرات الطفيفة في ركام نفس المصدر بين فترة واخرى .**
- **ويستعمل في تصميم الخلطات الخرسانية .**

$$\text{معامل النعومة} = \frac{\text{مجموع النسب المئوية المتبقية المتجمعة}}{100}$$

المقاس الاقصى للركام (Maximum Agg. Size) : -

كلما ازداد الحجم الاعلى للركام يؤدي الى :-

1- تقليل نسبة ماء الخلط (W.C) .
2- تقليل المساحة السطحية للركام .
3- الاقتصاد من كلفة الخرسانة .

يتحدد المقاس الاقصى للركام بالشروط الانشائية ألآتية (مع أخذ اقل قيمة) : -

1- لايزيد حجم الركام عن 3/4 ألمسافة الصافية بين حديد التسليح .
2- لايزيد حجم الركام عن 1/3 أصغر مقاس للجزء الخرساني .
3- يقل 5 ملم عن اقل مسافة بين قضبان التسليح .

ويتم أيجاد المقاس الاقصى للركام كما يلي :-

أ- تحديد أقرب منخل من النسبة (15 %) للنسب المئوية المتبقية المتجمعة للركام .

ب- يعتبر قياس المنخل الذي يسبقه في التسلسل نحو الاعلى = المقاس الاقصى للركام .

متوسط حجم الركام :

ويتم أيجاد متوسط حجم الركام كما يلي :-

أ- اعطاء تسلسل للمناخل من الاسفل الى الاعلى أي من منخل (No.100) الى منخل قياس (38 mm).

ب- تقريب معامل النعومة الى أقرب رقم صحيح .

جـ- مطابقة الرقم في الخطوة (ب) مع الخطوة (أ) فيكون هو حجم المنخل الذي يمثل متوسط حجم الركام .

مثال :

تم فحص التدرج على نموذج من الحصى وكانت النتائج كما يلي :-

Sieve Size (mm)	Sieve Opening (mm)	Wt. of the Retained Agg.	% of the Retained Agg.	% of the Comulative Retained Agg.	% of the Passing	Specifications
38	38	0	0	0	100	100
19	19	98	3	3	97	95 --- 100
9.5	9.5	2000	61.5	64.5	35.5	30 --- 60
No.4	4.75	1152	35.5	100	0	0 --- 10
No.8	2.36	0	0	100	0	
No.16	1.18			100	0	
No.30	0.6			100	0	
No.50	0.3			100	0	
No.100	0.15			100	0	
Pan						

الوزن الكلي =∑ = 3250gm ∑ = 667

المطلوب ايجاد مايلي :-

1- معامل النعومة للحصى 2- الحجم الاعلى للركام

3- متوسط حجم الركام 4- رسم منحني التدرج

الحل :-

$$\text{الحقل (4) يتم فيه حساب النسبة المئوية للوزن المتبقي} = \frac{\text{حقل (3)}}{\text{الوزن الكلي للنموذج}} * 100$$

الحقل (5) يتم فيه حساب النسبة المئوية المتبقية المتجمعة (التراكمية) .

الحقل (6) يتم فيه حساب النسبة المئوية المارة = 100 - الحقل (5) = % Passing .

يقسم الركام حسب درجة تدرجه الى ثلآث أنواع :-

1- ركام ذو تدرج جيدٍ (Well Graded Aggregate)

2- ركام ذو تدرج رديءٍ (Poorly Graded Aggregate)

3- ركام ذو الفجواتِ (Gap Graded Aggregate)

مثال :-

تم فحص التدرج على نموذج من الرمل وكانت النتائج كما يلي :-

Sieve Size (mm)	Sieve Opening (mm)	Wt. of the Retained Agg.	% of the Retained Agg.	% of the Comulative Retained Agg.	% of the Passing	Specifications
38	38	-	-	-	-	-
19	19	-	-	-	-	-
9.5	9.5	0	0	0	100	100
No.4	4.75	30	3	3	97	90-100
No.8	2.36	90	9	12	88	85-100
No.16	1.18	40	4	16	84	75- 100
No.30	0.6	180	18	34	66	60-79
No.50	0.3	410	41	75	25	12-40
No.100	0.15	170	17	92	8	0-10
Pan		80	8	100	0	-
Total Weight		**$\sum$ = 1000 gm**		**$\sum$ = 232**		

المطلوب :-

1- ايجاد معامل نعومة الرمل .
2- ايجاد متوسط حجم الركام .
3- تحديد مدى مطابقة الرمل للمواصفات القياسية العالمية .

الحل :-

$$\text{معامل النعومة} = \frac{\text{مجموع النسب المئوية المتبقية المتجمعة}}{100}$$

$$\text{معامل النعومة} = \frac{232}{100} = 2.32$$

2- متوسط حجم الركام :-

معامل النعومة = $2.32 \approx 2$

تسلسل المنخل هو (2) من الأسفل أي (No.50) وقياس فتحته (0.3 mm)

متوسط حجم الركام هو (0.3 mm) .

3 - نعم يطابق المواصفات القياسية (Zone 3) .

متطلبات التدرج للركام ألناعم :-

Sieve Opening (mm)	B.S. Specifications For Sand (% Passing)			
	Zone (1)	Zone (2)	Zone (3)	Zone (4)
9.5	100	100	100	100
4.75	90 ---100	90 ---100	90 ---100	95 ---100
2.36	60 ---95	75 ---100	85 ---100	95 ---100
1.18	30 ----70	55 ----90	75 ---100	90 ---100
0.6	15 ---34	35 ---59	60 ---79	80 ---100
0.3	5 ----20	8 ---30	12 ---40	15 ---50
0.15	0 ---10	0 ---10	0 ---10	0 ---15
معامل النعومة F.M	2.71 --- 4	2.1 ---3.37	1.71 --- 2.7	1.35 --- 2.2

متطلبات التدرج للركام ألخشن:-

Sieve Opening (mm)	B.S. Specifications For Gravel (% Passing) وحسب المقاس الاسمي للركام (mm)		
	4.75-12.5	4.75 – 19	4.75 - 38
75	-	-	-
63	-	-	-
50	-	-	100
38	-	100	95-100
19	100	95-100	35-70
9.5	85-50	30-60	10-40
4.75	0-10	0-10	0-5

المواد الضارة في الركام:

توجد عدة مواد ضارة في الركام تؤثر بشكل مباشر اوغير مباشر على خواص الخرسانة ومن اهم هذه المواد:

1- **ألأملاح .**
2- **ألمواد العضوية .**
3- **الطين والمواد الناعمة .**
4- **الكتل الضعيفة القابلة للتفتت .**

اولاْ : الاملاح :-

تؤثرنقاوة الركام من الاملاح وخاصة الكبريتات (Sulfates) على قوة ومتانة الخرسانة حيث أن وجود الاملاح بنسبة ≤ 0.5 % من وزن الرمل يسبب تلف الخرسانة عن طريق تغير حجم الخرسانة بعد تصلبها ويتم ذلك يطريقتين :-

أ- طريقة كيمياوية .
ب- طريقة ميكانيكية .

في الطريقة الكيمياوية تحصل عدة تفاعلات كيمياوية تسبب تغيرات حجمية تؤدي الى تلف الخرسانة .
اما في الطريقة الميكانيكية فتتجمع الاملاح قرب قشرة الخرسانة بالخاصية الشعرية والتزهر ويسبب تكسر القشرة وتلف الخرسانة .

ثانياً : الشوائب العضوية : -

تؤثر الشوائب العضوية على عملية التماسك والتصلب في الخرسانة وقد تسبب تلفها قي بعض الحالات فمثلاْ وجود السكر يمنع تماسك الخرسانة أما وجود الفحم والمواد العضوية المتحللة فيجب تجنبها لتأثيرها على متانة الخرسانة ويكثر وجودها في الركام الناعم ويستعمل الفحص اللوني لبيان محتوى المواد العضوية في الركام الناعم .

ثالثاْ : الطين والمواد الناعمة (Clay and Silt)

يتواجد الطين كغبار على حبيبات الركام ويتسبب في اضعاف الربط بين عجينة السمنت وحبيبات الركام .أن وجودها بكميات كبيرة على الركام تستدعي الحاجة الى كميات اكبر من عجينة السمنت لتغليفها كما وتؤدي الى الزيادة في تمدد وتقلص الخرسانة بصورة متزايدة وبالتالي تؤدي الى تشققها .
أن الطريقة المستخدمة في تحديد كمية الطين والمواد الناعمة هي الترسيب. وتحدد المواصفات:

1- **أن لاتزيد كمية الطين والمواد الناعمة في الركام الناعم عن (3 %) .**
2- **أن لاتزيد كمية الطين والمواد الناعمة في الركام الخشن عن (2 %) .**

رابعاً : الكتل الضعيفة القابلة للتفتت:-

وهي تؤثر على متانة ومقاومة الخرسانة وحددت المواصفات بان لاتزيد نسبتها عن 1% في الركام الناعم وان لاتزيد عن 0.25 % في الركام الخشن .
*** وتحدد المواصفات بأن لاتزيد نسبة المواد الضارة الكلية عن (5 %) لكلا النوعين من الركام.**

-------طين--------+-------غرين----------+-------رمل---------+-----حصى-----
0.002 mm 0.06 mm 4.75 mm
حبيبات صغيرة <========== حبيبات كبيرة

مخطط يوضح : الحدود الفاصلة بين حبيبات الركام

التفاعل القلوي :-

هو التفاعل الذي يحصل بين السليكا الفعالة الموجودة في الركام والقلويات الموجودة في السمنت حيث يؤدي الى انتفاخ حبيبات الركام وتصدع العجينة السمنتية المحيطة بها .

أسباب حصول التفاعل القلوي :-

يبدأ التفاعل القلوي بمهاجمة هيدروكسيدات القلويات الناتجة في الاسمنت (K_2O,Na_2O) للمعادن السليكية الموجودة في الركام ونتيجة لذلك يتكون جل من السليكا القلوية المتميزة بأنتفاخ غير محدد بسبب امتصاص الماء مؤدياً الى زيادة الحجم وينتج عن ذلك ضغوطا داخلية تؤدي الى تمدد وتشقق وتصدع الخرسانة .

ويعتمد مقدار التفاعل القلوي على :-

أ - مقاس حبيبات الركام .

ب- مسامية الركام .

جـ كمية القلويات في السمنت .

ويمكن التعرف على هذه التفاعلات من خلال فحص قضيب مونة السمنت (Mortar Bar Test)ويتم ذلك بسحق الركام المراد فحصه للوصول الى تدرج محدد ومن ثم يستعمل الركام لعمل قضبان من مونة السمنت والرمل وذلك باستعمال سمنت قلوي متكافئ بما لايقل عن (Na_2O من 0.6 %) ويتم وضع القضبان في ماء بدرجة 38 م° ويعتبر الركام المفحوص ضاراً اذا كان تمدد قضبان المونة السمنتية اكثر من 0.05 % بعد ثلاثة اشهر او 0.1 % بعد ستة اشهر .

الركام الخفيف :-

ان الخاصية المهمة للركام الخفيف الوزن هو مساميته العالية حيث تؤثر على وزنه النوعي وتقلله ويمكن تصنيف الركام الخفيف إلى نوعين :-

1- الركام الخفيف الطبيعي (Natural light – Weight Agg.) :

تعطي هذه الأنواع خرسانة خفيفة الوزن وحسب كثافة الركام المستعمل وتكون الخرسانة جيدة بسبب جودة الركام نفسه ويوجد الركام الطبيعي الخفيف في أماكن محددة لذا فأن استعماله قليل مقارنة مع الركام الخفيف الصناعي والأنواع الرئيسية هي :-

أ- البيوميس : ويكون البيوميس ذو لون فاتح وهو عبارة عن زجاج بركاني اشبه بالرغوة كثافته 500 – 900 كغم / م³ أما الخرسانة المصنوعة منه فتعطي كثافة بين 700- 1000 كغم/م³ وتمتاز بقابلية انكماش وامتصاص عاليتين .

ب- السكوريا : عبارة عن صخر زجاجي اسفنجي أشبه بالجمر الصناعي وعند استعماله في الخرسانة تعطي نفس خواص البيوميك .

2- الركام الخفيف الصناعي (Artifical light – Weight Agg.) :

ينتج الركام الخفيف الصناعي بحرق المواد الاولية بغية تمددها مثل الطين والاحجار الطينية الرخوة اوبأستعمال اسلوب خاص لتبريد خبث الافران العالية بغية تمدده اضافة الى أستخدام الفضلات المتبقية والمحروقة في الافران الصناعية ومن اهم انواع الركام الصناعي :-

أ- الكلنكر: يعطي الكلنكر المحروق بدرجات حرارة عالية نتائج جيدة ألا أنه يحتوي على الكبريت لذا لايجوز استعماله مع الخرسانة المسلحة ألا بغطاء أكبر من 2.5 سم .

ب - السلاك بالرغوة :- ينتج السلاك بالرغوة عند تبريد السلاك المنصهر بسرعة وذلك بتعريضه لكميات محددة من الماء ويعطي السلاك عزلاً حرارياً افضل من الكلنكر ويتميز بجودة الخرسانة المصنوعة منه حيث يستعمل للخرسانة الانشائية والعازلة .

جـ الطين المنفوخ :- عندما تتعرض بعض الاطيان لدرجات حرارة عالية تتحول الى حالة لدنة وذلك لتكون الغازات داخل المادة فتنتفخ بسرعة وبعد تبريد الركام يتم سحقه وتدريجه . تتراوح كثافة الخرسانة المنتجة منه بين 1600 – 1700 كغم / م³ .

د - النشارة: أحياناً تستعمل النشارة كركام خشن ولكن بعد معالجتها حيث أن الدهون والكاربوهيدرات الذائبة الموجودة فيها تؤثر على عملية تميؤ السمنت وتستخدم بصورة رئيسية في المناطق الداخلية في المنشآت لعدم تحملها للرطوبة .

مميزات الركام الخفيف :-

1- الزيادة في العزل الحراري ومقاومة الحريق .
2- تقليل وزن المنشأ .
3- الخفة في المناولة والعمل .
4- عدم وجود الاملاح الكبريتية فيه مقارنة مع الرمل .
5- لها سطح جيد للطلاء والانهاء .
6- الزيادة في العزل الصوتي .

مساوىء الركام الخفيف :-

1- المسامية العالية .
2- الكلفة العالية .
3- يتطلب استخدامه كميات عالية من السمنت .
4- يتطلب استعماله زيادة في الغطاء الخرساني .
5- حركة الرطوبة فيه أعلى .
6- انكماش الجفاف فيه اعلى .
7- مقاومة الخرسانة للتآكل ضعيفة .

الركام الثقيل:

أحيانا يتطلب العمل الإنشائي خرسانة ذو كثافة عالية كما في الحالات التالية :-

1-الخرسانة المستعملة في الدروع الواقية من الإشعاعات .
2- الخرسانة المستعملة في زيادة الوزن أو معادلة الأوزان .

وفي هذه الحالات يستبدل الركام الاعتيادي بركام ذات وزن نوعي أعلى بكثير أي ما يقارب (4) ومن أهم المواد التي تستعمل كركام ثقيل :-

أ- البارايت (كبريتات الباريوم): وهو أكثر المواد استعمالاً وذو وزن نوعي يقارب (4) ويشبه الركام الاعتيادي المكسر , تبلغ كثافة الخرسانة المصنعة منه (3700) كغم/ م ³ تقريباً .

ب- خامات الحديد: مثل اوكسيد الحديد المغناطيسي ولها قابلية امتصاص عالية للماء. تبلغ كثافة ألخرسانة المصنعة منه (3000– 3900) كغم / م ³ .

جـ سبائك الحديد والمغنيسيوم وأوكسيد الحديد المائي والمينيت: ويتراوح وزنها النوعي ما بين (3.4- 6.5).

مميزات الركام الثقيل :-

1- يكون ذو كثافة عالية .
2- يحتاج إلى عناية كبيرة في الاستخراج والسحق والتدرج وأثناء خلط وصب الخرسانة .
3- يمتاز بحصول عملية الأنعزال أثناء خلطه بسبب وزنه النوعي العالي .

الماء (WATER)

أهمية الماء للخرسانة :-

يعتبر الماء مهم للآغراض التالية :-

1- الماء ضروري للتفاعل الكيمياوي مع السمنت .
2- الماء ضروري لكي يمتصه الركام .
3- يعطي الماء لخليط الركام والسمنت ليونة تساعده في التشغيل .
4- يعطي الماء حجماً يتراوح بين 15% -- 20 % .
5- الماء ضروري للترطيب اثناء فترة المعالجة .
6- الماء ضروري لغسل الركام .

يستخدم الماء في أعمال الخرسانة في ثلاث حالات وهي :-

1- ماء الخلط (Mixing Water)
2- ماء المعالجة (Curing Water)
3- ماء غسل الركام (Washing Water For Agg.)

اولاً : ماء الخلط (Mixing Water):

مواصفات الماء المستعمل في الخلط هي :-

1- أن يكون خالي من المواد العالقة والطمى .
2- أن يكون خالي من الدهون والشحوم والسكر .
3- أن يكون خالي من المواد العضوية والقواعد .
4- أن لاتزيد نسبة الاملاح الكلية فيه عن (2%).
5- درجة التعكر لاتتجاوز (0.002).

وعموماً فان الماء الصالح للشرب يمكن استعماله في خلط الخرسانة وعند استعمال ماء غير صالح للشرب يجب ان تتوفر الشروط التالية :-

أ- زمن تماسك السمنت لايزيد بأكثر من (30) دقيقة عن الزمن الاعتيادي لأستخدام الماء الصالح للشرب .
ب- لايقل تحمل الانضغاط عن (90 %) للعينات المماثلة والممزوجة باستخدام الماء الصالح للشرب .

لايفضل استخدام ماء البحر في الخرسانة المسلحة لوجود املاح الكلوريدات ألا انه يمكن استخدامه في الخرسانة الاعتيادية مع زيادة كمية السمنت اللازمة للحصول على المقاومة المطلوبة .

نسبة الماء الى السمنت (W/C) :-

هي النسبة بين وزن الماء الحر المخصص للتفاعل (عدا الماء الذي يمتصه الركام) الى وزن السمنت في الخلطة الخرسانية .

جدول يبين المقاومة المتوقعة لنسب مختلفة من الـ (W/C) :-

المقاومة المتوقعة (MPa)	نسبة ألـ (W/C)
60	0.23 ------- 0.32
40	0.42 ------- 0.50
20	0.69 ------- 0.77

نلاحظ من الجدول اعلاه ان مقاومة الخرسانة (تقل) مع زيادة نسبة (الماء الى السمنت) في الخرسانة .

ثانياً :- ماء المعالجة (Curing Water) :

أن تواجد الطمى والدهون وكميات من الاملاح في ماء المعالجة لايؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة عدا تغيير لون القشرة الخارجية لها .أما وجود المواد العضوية والحوامض في ماء الترطيب فأنه يستدعي أجراء الفحوصات لمعرفة مدى تضرر الخرسانة .

ثالثاً :- ماء غسل الركام (.Washing Water for Agg) :

أن الماء المستعمل في غسل الركام يجب أن يكون خالي من الطين والاملاح والمواد العضوية أن تركيز المواد الشائبة على سطح الركام يضر أكثر من المواد الشائبة الموجودة في ماء الخلط وذلك بسبب تكسية حبيبات الركام بالطمى والاملاح والمواد العضوية الامر الذي يضعف الربط بين الحبيبات والعجينة السمنتية مما يضعف مقاومة الخرسانة .

الخرسانة الطرية
FRESH CONCRETE

المقدمة:

يطلق نعبير الخرسانة الطرية (Fresh Concrete) على الخرسانة المخلوطة حديثا والتي لم تتماسك بعد, وهذه الخرسانة تفقد لدونتها بصورة تدريجية, وعندما تتماسك تماما, تعرف بالخرسانة الخضراء (Green Concrete). ولكن عند تجاوزها هذه المرحلة ودخولها في مرحلة التصلب, أي اكتساب المقاومة, بحيث تستطيع أن تتحمل الأثقال المؤثرة على المنشأ, تعرف عندئذ بالخرسانة المتصلبة (Hardened Concrete).
ونظرا لان مقاومة الخرسانة تتاثر تاثرا كبيرا بدرجة رصها ومدى الاعتناء بها اثناء عملية نقلها وصبها, فمن الضروري ان تكون الخرسانة الطرية ذات قوام (Consistence) مناسب بحيث يمكن نقلها, صبها ورصها بمقدار مناسب من الشغل المنجز ودون حصول الانعزال (Segregation).
ويمكن الاشارة هنا الى ان طبيعة المنشا الخرساني قد تتطلب ان تكون الخرسانة الطرية ذات خصائص معينة بغية التمكن من استعمالها بكفاءة في ذلك المنشا دون حصول اية صعوبات او زيادة في التكاليف عند القيام بعمليات نفل الخرسانة من مكان الخلط الى موضعها في القالب ثم رصها رصا كليا للحصول على خرسانة طرية كثيفة وبالتالي تكون الخرسانة المتصلبة خالية من الفراغات تقريبا وذات تحمل عال. على سبيل المثال , تكون الخرسانة الطرية المستعملة لاغراض الطرق بمحتوى ماء اقل من الخرسانة المستعملة في المباني الاعتيادية وذلك لسهولة نقلها ورصها وقلة تشابك حديد التسليح فيها. اضافة الى ذلك تتحكم خصائص الخرسانة الطرية المطلوبة بشكل القالب وترتيبه وكثافة حديد التسليح فيه.

خلط الخرسانة (Mixing of Concrete):

تخلط مكونات الخرسانة مع بعضها البعض للحصول على خليط متجانس التكوين والقوام, وعند الانتهاء من الخلط يجب ان تكون جميع سطوح حبيبات الركام مغطاة بعجينة الاسمنت يعتبر خلط الخرسانة من اهم العمليات التي تؤثر على خواصها المحتلفة لذلك يجب اعطاءها العناية الكافية وتتم هذه العملية اما بالطريقة اليدوية او باستعمال الخلاطات الميكانيكية.

1- الطريقة اليدوية (Hand Mixing):

هناك بعض الحالات يتم فيها خلط الخرسانة يدويا, وفي هذه الحالة يصعب الحصول على خليط متجانس لذا يتطلب اعطاء جهد وعناية كافية اثناء عملية الخلط . ويمكن انجاز هذه العملية بنشر الركام في طبقات منتضمة على سطح صلب, نظيف وغير مسامي ثمة نشر الاسمنت فوقه , وتخلط المواد الجافة جيدا لاستعمال جاروف وبقلب المواد من احدى النهايات الى الاخرى حتى ينتج خليط منتظم الون حيث تحتاج هذه العملية لثلاث قلبات على الاقل. ثم يعمل تجويف في وسط الخليط على شكل مخروط مفتوح من الوسط ويضاف الماء بصورة تدريجية مع الانتباه الى عدم السماح له بالخروج من جملة الخليط, وفي هذا الاثناء يقلب الخليط من الخارج نحو المركز ويستمر التقليب, على الاغلب ثلاث مرات, حتى ينتظم قوام الخلطة ولونها.

2- الخلط الميكانيكي (Mechanical Mixing):

نظرا لكون عملية الخلط اليدوي للخرسانة تكلف جهدا كبيرا, اصبح استعمال الخلاطات الميكانيكية ذو اهمية كبيرة, وعند استعمالها يجب الاعتناء بطريقة تفريغها كي لاتؤثر على تجانس لبخليط. وفي الحقيقة, فان طريقة تفريغ الخلاطة تعتبر من احدى النقاط الاساسية في تصنيف الخلاطات. ويمكن تصنيف الخلاطات الميكانيكية الى الانواع التالية:

أ- الخلاطات القلابة (Tilting Mixers):

يكون وعاء الخلط في هذه الخلاطات بشكل مخروطي وغالبا مايحوي بداخله الواح تسمى بريش التحريك حيث تساعد على اجرلء عملية الخلط بطريقة منتظمة. ويمكن تفريغ الخرسانة بسهولة وبدون حصول الانعزال لمكونات الخليط وذلك بامالة هذه الخلاطات حول محورها, لذا يفضل استعمالها للخلطات الجافة القوام والحاوية على ركام خشن المقاس.

ب- الخلاطات الغير قلابة (Non-Tilting Mixers):

تتكون هذه الخلاطات من اسطوانة تدور حول محور ثابت وتتم عملية الخلط فيها بتدحرج المواد بداخلها. تغذى المواد اليها عادة من احدى نهايتيها وتفرغ الخرسانة من النهاية الاخرى وذلك بايصال حوض بشكل قناة مفتوحة من الحديد والخشب (مزلقة-) باسطوانة الخلاطة او بفصل الاسطوانة الى قسمين. ونظرا لكون سرعة تفريغ الخرسانة من الخلاطة واطئة, فان مكونات الخرسانة تميل الى الانعزال, واثناء عملية التفريغ يميل ملاط الاسمنت الى النزول اولا وحبيبات الركام الخشن اخيرا وقد تبقى في بعض الاحيان في الخلاطة اذا يفضل استعمالها للخاطات الخرسانية الحاوية على ركام صغير المقاس.

جـ الخلاطات القدرية (Pan Mixer):

تتالف من وعاء او اسطوانة افقية تدور حول محورها, ويتم الخلط فيها بواسطة مجاذيف نجمية تدور حول محور عمودي وموضوعة بصورة لامركزية وفي بعض الاحيان يكون وعاء الخلط ثابتا وتدور المجاذيف بحركة دورانية حول محور الاسطوانة, وفي كلا الحالتين تكون الحركة النسبية بين الخرسانة والمجاذيف مماثلة حيث تخلط الخرسانة الموجودة في اي جزء من الوعاء بصورة تامة. وبصورة عامة, تكون هذه الخلاطة غير قابلة للحركة وتستعمل كخلاطة مركزية للمشاريع الكبيرة, في معامل صناعة الوحدات الخرسانية الجاهزة وفي المختبرات, كما وتستعمل بصورة خاصة للخلطات الصلبة (Stiff) القوام والمتماسكة. وبسبب وجود الالواح الدوارة والتي تشغل جزءا كبيرا من وعاء الخلط وتستعمل هذه الخلاطات ايضا لخلط كمية قليلة قليلة من الخرسانة لذا يفضل استعمالها في المختبر.

د- الخلاطات الاسطوانية الشكل (Drum Type Mixers):

في هذه الخلاطات لايحصل قشط لجوانبها الداخلية اثناء عملية الخلط وبذلك تتجمع كمية من الملاط وتلتصق بجوانب الاسطوانة الداخلية حيث تبقى هناك لحين غسلها عند نهاية العمل اليومي. فالخليط الاول سيفقد كمية كبيرة من الملاط ويظهر اثناء التفريغ بشكل حبيبات من الركام الخشن محاطة بطبقة من عجينة الاسمنت, لذا يجب اهمال الخليط الاول ويمكن معالجة ذلك بوضع كمية من الملاط في الخلاطة قبل بداية الخلط لغرض تمليطها (Buttering).

ه- الخلاطات الثنائية الوعاء (Dul Drum Mixers):

تتكون من وعائين متجاورين حيث تخلط الخرسانة لمدة معينة من الزمن في الوعاء الاول وتنقل الى الوعاء الثاني للفترة الباقية من عملية الخلط. وفي متوسط هذا الوقت يعاد شحن الوعاء الاول بمكونات الخرسانة ويبدا بعملية الخلط من جديد. وهذه العملية متواقتة بحيث لايحصل اختلاط بين مكونات الخرسانة الغير المخلوطة ومكونات الخرسانة المخلوطة جزئيا او بين الاخيرة والمكونات المخلوطة كليا وبذا فان انتاج الخرسانة يكون مضاعفا مقارنة بالخلاطات الاعتيادية. تستعمل هذه الخلاطات في اشلء الطرق, عندما تكون المساحة المتوفرة وحرية استعمالها محدودة وقد تستعمل خلاطات ثلاثية الوعاء لهذا الغرض.

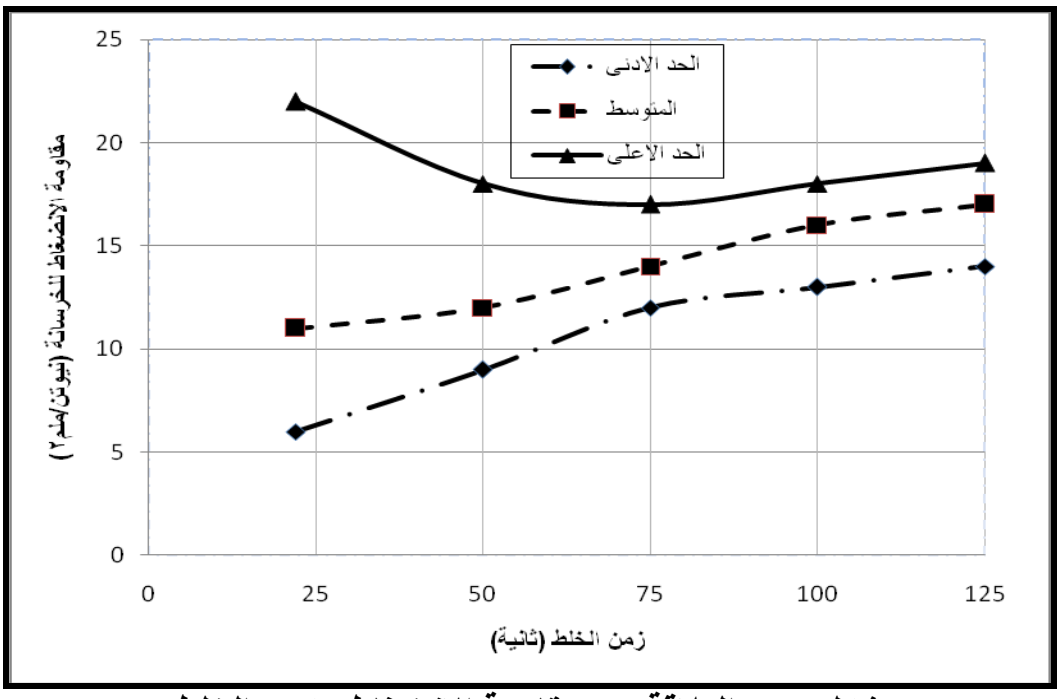
ان كل الخلاطات المذكورة هي خلاطات وجبة (Batch Mixer) أي من النوع التي تملأ بالمواد, تخلط ثم تفرغ تماما قبل اعادة ملئها, وهذه تختلف عن الخلاطات المستمرة (Continuous Mixers) التفريغ أي الخلاطات التي تغذى بالمواد الاولية وتفرغ المواد المخلوطة بتدفق مستمر.

مقاس الخلاطة (Size of Mixer):

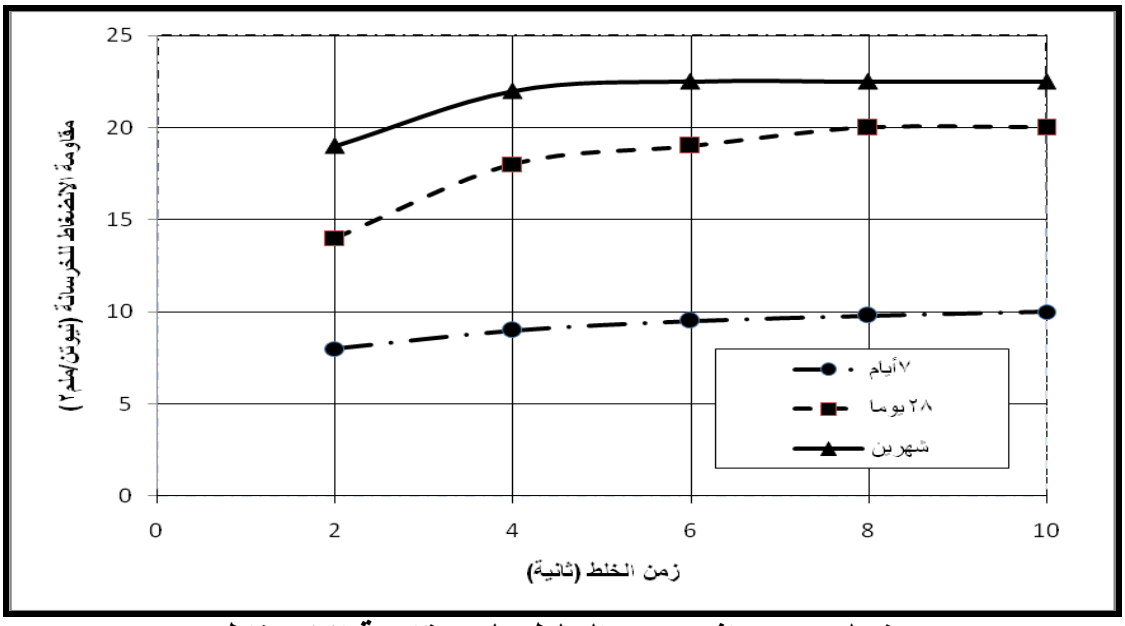
يعبر عن مقاس الخلاطة بحجمها وغالبا يستعمل رقمين: يشير الاول الى حجم المكونات الغير المخلوطة, بصورة سائبة, والثاني يعبر عن حجم الخرسانة عند خلطها, على سبيل المثال, 10/7 , 14/8, 22/14 ...الخ وهذه القيم هي بالقدم المكعب. وفي الوقت الحاضر يستند المقاس الاسمي للخلاطة على حجم الخرسانة بعد عملية الرص, كما مبين في المواصفات القياسية البريطانية (B.S. 1305:1967). تصنع الخلاطات باحجام مختلفة تتراوح بين (0.04) م^3 لاستعمالات المختبرية الى (13) م^3 واذا كانت الكمية المخلوطة صغيرة نسبة الى حجم الخلاطة فان الخليط الناتج يكون غير متجانس التكوين وتكون العملية غير اقتصادية.

زمن الخلط (Mixing Time):

في موقع العمل, غالبا ما تخلط الخرسانة باسرع وقت ممكن لانهاء عملية الصب, لذا يكون من الضروري معرفة الحد الادنى للزمن اللازم لعملية الخلط لانتاج خرسانة متجانسة التكوين وذات مقاومة مناسبة. وهذا الزمن يختلف باختلاف نوع الخلاطة وبتعبير ادق ليس هو زمن الخلط بل عدد دورات الخلاطة اللازمة لعملية الخلط, وبصورة عامة, تكون حوالي (20) دورة كافية. ومن جهة اخرى, نظرا لتحديد الحد الاقصى لسرعة الدوران من قبل صانع الخلاطة فان عدد الورات يعتمد على زمن الخلط.
ولخلاطة معينة هناك علاقة بين زمن الخلط وتجانس الخليط كما مبين في شكل رقم (1) فالتغير في مقاومة عينات خرسانية مصنوعة من خليط معين ومخلوطة لفترة معينة من الزمن يعبر عن عدم تجانس الخليط, كما ويظهر بان خلط الخرسانة لفترة اقل من (1-1 4/1) دقيقة يعطي خرسانة متغيرة كثيرا ولكن زيادة وقت الخلط عن هذه القيم لايؤدي الى تحسين تجانس الخليط بدرجة كبيرة.
اضافة الى ذلك, يزداد معدل مقاومة الخرسانة بزيادة زمن الخلط كما موضح في شكل رقم (2) ومعدل الزيادة ينخفض فجاة بعد حوالي دقيقة واحدة ولايكون بذات اهمية بعد دقيقتين وضمن الدقيقة الاولى يكون تاثير زمن الخلط على المقاومة ذو اهمية كبيرة.
تتغير القيمة الفعلية للحد الادنى لزمن الخلط مع نةع الخلاطة وتعتمد علة مقاسها فالجدول رقم (1) يبين القيم النموذجية, ويحسب هذا الزمن من وقت وضع كل المواد الصلبة في الخلاطة. ان الارقام المدرجة هي للخلاطات الاعتيادية ولكن هناك عدة خلاطات حديثة وكبيرة الحجم تعطي خليطا متجانسا عندما يكون زمن الخلط بين (1-1 2/1) دقيقة, وفي الخلاطات القدرية ذات السرعة العالية يكون من الخلط قصيرا اذ يصل الى (35) ثانية. ومن جهة اخرى عند استعمال الركلم الخفيف الوزن يجب ان لايقل زمن الخلط عن (5) دقائق وفي بعض الاحيان يقسم الى (2) دقيقة لخلط الركام مع الماء, يتبعها (3) دقائق اخرى بعد اضافة الاسمنت. وبصورة عامة فان طول زمن الخلط اللازم للحصول على خليط متجانس التكوين واللون يعتمد على نوعية او جودة موالفة المواد اثناء تفريغ الخليط.
ان خلط الخرسانة لفترة طويلة يؤدي الى تبخر الماء من الخليط ويتبع ذلك نقصانا في قابلية التشغيل. اضافة الى ذلك بزيادة زمن الخلط يتكسر الركام الخشن وبالاخص اذا كان ضعيفا وبذلك تزداد المساحة السطحية للركام وتقل قابلية تشغيل الخليط ايضا كما وترتفع حرارة الخليط ايضا بسبب الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات الصلبة.



شكل (1): العلاقة بين مقاومة الانضغاط وزمن الخلط



شكل (2): تاثير زمن الخلط على مقاومة الانضغاط

جدول (1) يوضح الحد الادنى لزمن الخلط

سعة الخلاطة		زمن الخلط – دقائق
($م^3$)	($ياردة^3$)	الجمعية الامريكية للخرسانة والجمعية الامريكية لاختبار المواد (ASTM C 94-78a)
0.8	الى حد 1	1
1.5	2	1 ¼
2.3	3	1 ½
3.1	4	1 ¾
3.8	5	2
4.6	6	2 ¼
7.6	10	3 ¼

تغذية مكونات الخليط في الخلاطة:

ليس هناك طريقة عامة لتغذية مكونات الخليط في الخلاطة وذلك لانها تعتمد على خواص الخليط والخلاطة, وبصورة عامة:

1 - توضع اولا كمية قليلة من ماء الخلط في الخلاطة.

2- ثم يضاف اليها كل المواد الصلبة ومن الافضل ان تغذى المواد بصورة منتظمة في الخلاطة وفي نفس الوقت وان امكن ان يغذى الجزء الاكبر من الماء خلال نفس الوقت.

3- اما الجزء المتبقي من الماء فيضاف بعد اضافة المواد الصلبة.

وفي بعض الخلاطات, عند استعمال خليط جاف جدا يكون من الضروري ان:
يغذى اولا بعض الماء والركام الخشن والا فان سطح الركام الخشن لايترطب كليا.

ولقد لوحظ في بعض الخلاطات القدرية الصغيرة وعند استعمال خلطات صلبة (Stiff) جدا بانه:

1- من الافضل ان يغذى الرمل اولا.
2- ثم جزء من الركام الخشن.
3- ثم الاسمنت.
4- ومن ثم الماء واخيرا يغذى الجزء المتبقي من الركام الخشن وذلك لغرض تكسير كتل الملاط.

قابلية تشغيل الخرسانة الطرية
WORKABILITY OF FRESH CONCRETE

قابلية تشغيل الخرسانة الطرية:

في حالة كون الخرسانة الطرية ذات قوام مناسب بحيث يمكن نقلها وصبها ورصها كليا وإنهائها بجهد معقول وبدون حصول الانعزال, يقال أنها قابلة للتشغيل.

وقابلية التشغيل المطلوبة تعتمد, بدرجة كبيرة على طرق الرص المتوفرة فقد تستعمل طريقة الرج أو الدك اليدوي في عملية الرص لطرد الهواء المحصور من الخرسانة الطرية. والطلقة الكلية اللازمة للحصول على رص متكامل للخرسانة هي عبارة عن:

الشغل المبذول = الشغل النافع + الشغل المفقود

الشغل النافع هو عبارة عن الشغل المبذول في عملية الرص للتغلب على الاحتكاك الداخلي بين حبيبات الركام في الخرسانة إضافة إلى الشغل المبذول للتغلب على الاحتكاك السطحي بين الخرسانة وحديد التسليح أو سطح القالب من الداخل, أما الشغل المفقود فهو عبارة عن الشغل المبذول لرج القالب وأجزاء الخرسانة المتكاملة الرص. وبما إن الاحتكاك الداخلي هو الجزء المهم من الطاقة الكلية, فيمكن تعريف قابلية التشغيل بأنها مقدار أو كمية الشغل الداخلي النافع اللازم للحصول على رص متكامل للخرسانة الطرية.

الخرسانة الطرية يلزم أن تكون قابلية تشغيلها مناسبة لطريقة الرص المستعملة بحيث يمكن رصها للحصول على أقصى كثافة بمقدار معقول من الشغل المنجز.

قابلية التشغيل يجب أن تكون على الأقل كمقياس للخواص التالية:

أ- دموجية الخرسانة أو السهولة التي يمكن بها رص الخرسانة وطرد الفجوات الهوائية منها.
ب- حركية الخرسانة أو سهولة انسيابها في القالب حول قضبان حديد التسليح.
جـ- استقرارية الخرسانة أو قابليتها للبقاء مستقرة, أي كتلة متجانسة المكونات دون حصول الانعزال.

الطرق الرئيسية لقياس قابلية التشغيل:

يمكن تلخيص الطرق الرئيسية لقياس قابلية التشغيل للخرسانة الطرية فيما يلي:

1. **فحص الهطول (Slump Test)**
2. **فحص عامل الرص (Compacting Factor Test)**
3. **فحص إعادة التشكيل بالرجات الترددية (Remoulding By Jolting)**
4. **فحص إعادة التشكيل بالاهتزازات الترددية (Remoulding By Vibration)**

1- فحص الهطول: (Slump Test)

يستعمل فحص الهطول, بصورة واسعة, في موقع العمل وفي جميع أنحاء العالم, وهذا الفحص لا يقيس قابلية تشغيل الخرسانة ولكنه مفيد جدا في الكشف عن التغيرات الحاصلة في المواد الداخلة في تكوين الخرسانة بين فترة وأخرى, على سبيل المثال, زيادة محتوى الرطوبة في الركام أو تغير تدرج الركام كنقصان كمية الرمل في الخليط يؤدي إلى زيادة الهطول.إن الهطول العالي أو الواطيء كثيرا يعطي تحذيرا مباشرا للشخص المشرف على عملية الخلط ويمكنه من تصحيح نسب الخلط حالا.

في طريقة الفحص المبينة في المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM C 143-78) يستعمل قالب بشكل مخروط معدني ناقص ارتفاعه 305مم (12 انج) وقطر قاعدته السفلى 208 ملم (8 انج) وقطر قاعدته العليا 102 ملم (4 انج). انظر الشكل رقم (1). يرطب السطح الداخلي للمخروط والقاعدة التي يستند عليها لغرض تقليل الاحتكاك بين الخرسانة والسطوح الداخلية الملامسة لها, ثم يوضع على القاعدة بحيث تكون فتحته الصغيرة من الأعلى ويملأ بالخرسانة الطرية بثلاث طبقات متساوية الارتفاع تقريبا, حيث تدك كل طبقة

بواسطة قضيب رص قياسي, قطره 16ملم (5/8 انج), مدور من إحدى نهايتيه وذلك بالضرب 25 مرة عند نهايته المدورة وبعد ذلك يسوى سطح المخروط الناقص بواسطة مالج. وخلال هذه العملية يجب الانتباه إلى تثبيت المخروط على قاعدته بأحكام, وعند الانتهاء من مليء القالب تنظف المساحة المحيطة بقاعدة المخروط من الخرسانة الزائدة ثم يرفع القالب مباشرة بصورة بطيئة وعمودية وبذلك يمكن تعيين هطول الخرسانة إلى اقرب 5مم (1/4 انج) من قياس مقدار النقصان في الارتفاع الأصلي للخرسانة.

شكل رقم (1-A) يبين جهاز فحص الهطول

شكل رقم (1-B) يبين كيفية قياس الهطول

<u>أشكال الهطول:</u>

<u>هنالك ثلاثة أشكال للهطول وهي:</u>-

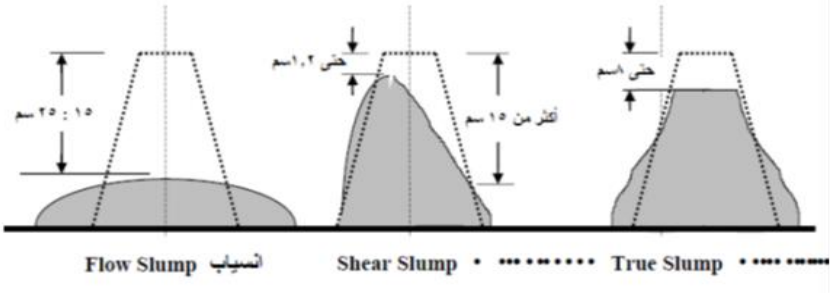
أ- <u>الهطول الحقيقي</u>: (True Slump)
هو هطول الخرسانة بصورة متساوية من جميع الجهات.

ب- هطول القص: (Shear Slump)

هو هطول نصف الخرسانة إلى الأسفل بمستوى مائل.وهذا يحصل عادة في الخليط المتباين المكونات معبرا عن فقدان تماسك الخليط. وعند الحصول على هذا النوع من الهطول يلزم إعادة الفحص بتقليل محتوى الماء في الخليط لحين الحصول على الهطول الحقيقي.

جـ- هطول انهيار: (Collapse Slump)

هو هطول الخرسانة إلى الأسفل بشكل كبير. الشكل رقم (2) يبين أشكال الهطول.



شكل رقم (2) يبين أشكال هطول الخرسانة الطرية

درجات التشغيل للخرسانة الطرية:

الجدول رقم (1) يبين درجات التشغيل للخرسانة الطرية من خلال معرفة قيم الهطول وعامل الرص للخرسانة المتضمنة مقاس أقصى 19 أو38 مم (3/4 أو ½ 1 انج). ومن خلال هذا الجدول يمكن معرفة استعمالات الخرسانة. ودرجات التشغيل هي واطئة جدا, واطئة, متوسطة و عالية.

جدول (1): درجات التشغيل, الهطول, عامل الرص للخرسانة المتضمنة مقاس أقصى 19 أو38 مم (3/4 أو ½ 1 انج)

درجة التشغيل	الهطول		عامل الرص باستعمال:-	استعمالات الخرسانة
	(مم)	(انج)	جهاز صغير جهاز كبير*	
واطئة جدا (Very Low)	25-0	1-0	0.80-0.78	خرسانة للطرق مرصوصة بالاهتزاز (الرج)
واطئة (Low)	50-25	2-1	0.87-0.85	خرسانة للطرق مرصوصة بالأجهزة اليدوية, خرسانة كتلية للأساسات من غير رص , خرسانة للمقاطع القليلة التسليح باستعمال الهزازات.
متوسطة (Medium)	100-50	4-2	0.94-0.92	خرسانة مسلحة للأعمال الاعتيادية مرصوصة يدويا, خرسانة للمقاطع الكثيفة التسليح وباستعمال الهزازات
عالية (High)	175-100	7-4	0.96-0.95	خرسانة للمقاطع الكثيفة التسليح جدا والغير ملائمة للاهتزاز

*لايستعمل اعتياديا

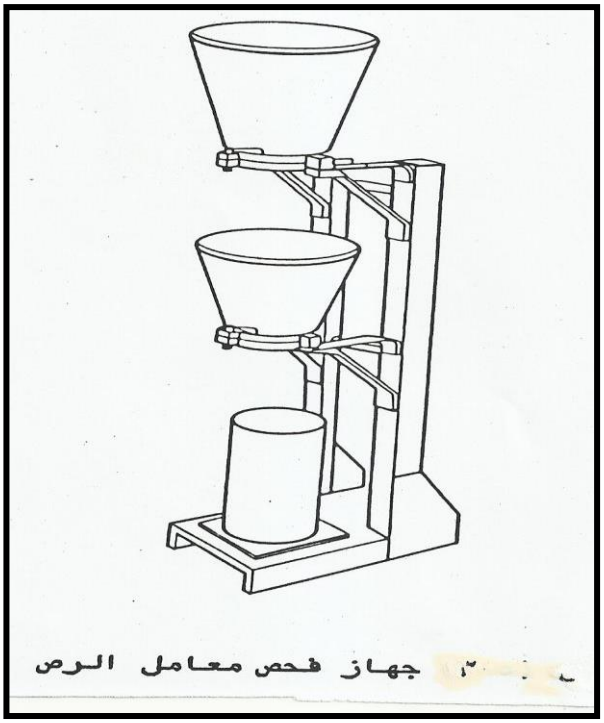
2- فحص عامل الرص: (Compacting Factor Test)

يمكن إجراء هذا الفحص بموجب الطريقة المبينة في المواصفات القياسية في المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 103:1983) وكذلك في الكود الأمريكي (ACI 211.3:1975) وذلك باستعمال جهاز يتكون من انائين بشكل مخروط ناقص واسطوانة واحدة, مرتبة كما موضح في الشكل رقم (3), حيث تكون

سطوحها الداخلية مصقولة لغرض تقليل الاحتكاك السطحي بينها وبين الخرسانة الملامسة لها. يملا المخروط الناقص العلوي بالخرسانة, بصورة هادئة كي لاينجز عليها شغل يؤدي إلى رصها, ثم تفتح بوابته مباشرة بعد ملئه لغرض السماح للخرسانة بالسقوط تحت تأثير وزنها الذاتي في المخروط الناقص التالي والذي يكون اصغر من المخروط الناقص العلوي لهذا يمتلأ بالخرسانة ويفيض وبذلك يتضمن تقريبا نفس كمية الخرسانة في الحالة القياسية. بعد ذلك تفتح بوابة المخروط الناقص الثاني فتسقط الخرسانة في الاسطوانة ثم تزال الخرسانة الزائدة ويسوى سطح الاسطوانة جيدا. يعيين وزن الخرسانة للاسطوانة والمرصوصة جزئيا بتأثير الجهد القياسي المشار إليه أعلاه, تحت تأثير وزنها الذاتي من ارتفاعات قياسية محددة. وبعدئذ يعاد مليء الاسطوانة بنفس الخرسانة بطبقات, عمقها 50 مم تقريبا, ترص كل طبقة رصا تاما بقضيب الرص أو بالاهتزاز الميكانيكي وتزال الخرسانة الزائدة ويعدل سطح الاسطوانة ثم يعيين وزن هذه الخرسانة المالئة للاسطوانة وبذا يمكن حساب عامل الرص من العلاقة التالية:-

$$\text{عامل الرص} = \frac{\text{وزن الخرسانة المرصوصة جزئيا والمالئة لاسطوانة قياسية}}{\text{وزن الخرسانة المرصوصة كليا والمالئة لنفس الاسطوانة}}$$

يبلغ ارتفاع جهاز عامل الرص حوالي 1.2 م وعندما يزيد المقاس الأقصى عن 19 مم والى حد 38 مم يستعمل جهاز اكبر ارتفاعه 1.8 م ولذا السبب لايستعمل الجهاز الكبير اعتياديا. إن قيم عامل الرص لقابلية التشغيل المختلفة يمكن ملاحظتها في جدول رقم (1).

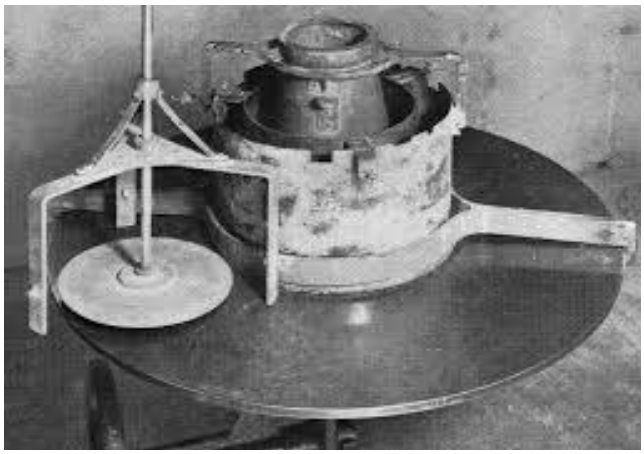


شكل (A-3) مخطط جهاز عامل الرص

شكل (B-3) جهاز عامل الرص

3- فحص إعادة التشكيل بالرجات الترددية: (Remoulding By Jolting)

تقاس قابلية التشغيل في هذه الطريقة بالجهد اللازم لتغير شكل نموذج من الخرسانة من هيئة إلى أخرى بواسطة الرج الترددي, والجهاز المستعمل في هذا الفحص مبين في الشكل رقم (4). يجري الفحص بوضع مخروط ناقص, أبعاده مماثلة لذلك المستعمل في فحص الهطول, في داخل اسطوانة قطرها 305 مم (12 انج) وارتفاعها 203 مم (8 انج), مثبتة على قرص الانسياب. وفي داخل الاسطوانة الرئيسية توجد حلقة داخلية, قطرها 210 مم (¼ 8 انج) وارتفاعها 127 مم (5 انج). يملىء المخروط الناقص بالخرسانة بالطريقة القياسية ثم يزال القالب ويوضع قرص وزنه 1.9 مم (1/4 انج) وتكرر العملية عدة مرات حتى يهطل المخروط الخرساني مقدارا معينا مغيرا شكله إلى شكل اسطواني وبذلك يعبر غدد الرجات الترددية عن الجهد اللازم لإعادة تشكيل الخرسانة والذي بدوره يعتبر كمقياس لقابلية التشغيل الخرسانة, وهذا الجهد يزداد بزيادة جفاف الخليط.



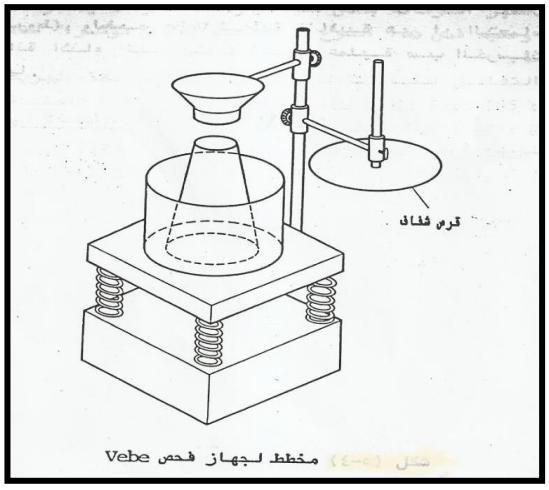
شكل (4) جهاز فحص إعادة التشكيل بالرجات الترددية

4- فحص إعادة التشكيل بالاهتزازات الترددية: Ve-Be (Remoulding By Vibration)

هذه الطريقة هي تعديل لطريقة إعادة التشكيل المبينة في (3), حيث تحذف فيها الحلقة الداخلية وترص الخرسانة بالاهتزازات الترددية بدلا من الرجات الترددية باستعمال الجهاز المبين في الشكل رقم (5). لقد سميت هذه الطريقة Ve-Be نسبة إلى العالم السويدي (V.Bahrner) الذي وضعها, وتفاصيلها مبينة في المواصفة البريطانية (BS 1881: Part 104:1983) وكذلك في الكود الأمريكي (ACI 211.3:1975).

في هذا الفحص يملىء المخروط الناقص بالخرسانة بثلاث طبقات تقريبا وكل طبقة تدك بقضيب الرص القياسي 25 مرة موزعة بالتساوي على سطح الخرسانة, ثم يسوى سطحه ويرفع مباشرة, بعدئذ تعرض الخرسانة للاهتزازات الترددية باستعمال المنضدة الهزازة والتي تهتز بسرعة قدرها 3000 دورة/دقيقة. تقاس قابلية التشغيل الخرسانة بالجهد اللازم لإعادة تشكيلها من مخروط ناقص إلى اسطوانة, ويقدر ذلك الجهد بالزمن T ثانية اللازم لإتمام إعادة التشكيل والذي يسمى عامل Vebe.

تعتبر هذه الطريقة من الطرق المختبرية الجيدة وخصوصا للخلطات الجافة جدا حيث لاتصلح الطرق الأخرى لذلك. وهناك فائدة أخرى من استخدام هذا الفحص, وهي إن طريقة معاملة الخرسانة أثناء الفحص مقاربة نسبيا إلى طريقة رص الخرسانة فعليه في الواقع.



شكل رقم (5) جهاز Vebe

شكل رقم (5) جهاز Vebe

العوامل المؤثرة على قابلية تشغيل الخرسانة:

يمكن تلخيص العوامل الرئيسية المؤثرة على قابلية التشغيل الخرسانة فيما يلي:

1- محتوى ماء الخلط:
عند تثبيت نوع الركام ومقاسه الأقصى فان قابلية تشغيل الخليط تزداد بزيادة محتوى الماء, وكلما كان المقاس الأقصى للركام اصغر كلما كان التدرج انعم وبذلك تزداد كمية الماء اللازمة للحصول على قابلية تشغيل معينة.

2- الكمية النسبية لعجينة الاسمنت والركام:
عند تقليل عجينة الاسمنت في الخليط نسبة إلى كمية الركام الموجود فان ذلك يجعل الخليط أكثر جفافا ولكن زيادة كمية عجينة الاسمنت تجعل الخليط أكثر سيولة وتزيد من قابلية تشغيله.

3- نعومة الاسمنت:
إن زيادة نعومة الاسمنت تزيد من قابلية تشغيل الخرسانة إلى حد معين ولكن تكاليف زيادة النعومة عالية ولاتتفق مع الزيادة في قابلية تشغيل الخليط.

4- تدرج الركام:
من الضروري إن تكون تدرج الركام المختلط بحيث يمكن الحصول على أقصى كثافة وبمقدار معقول من الشغل المنجز, أي إن تداخل الحبيبات ذات المقاسات المختلفة مع بعضها البعض, فالحبيبات الصغيرة تحتل الفجوات الموجودة بين الحبيبات الكبيرة وذلك لمنع ملاط الاسمنت من المرور خلال الفراغات الموجودة بين الحبيبات الكبيرة من الركام وكذلك لمنع عجينة الاسمنت من المرور خلال الفراغات بين الركام المختلط كي تكون الخرسانة الطرية ذات قابلية تشغيل جيدة والخرسانة المتصلبة الناتجة منها ذات مقاومة عالية.

5- شكل حبيبات الركام:
عند استعمال حبيبات الركام الرقائقية و المستطالة تقل قابلية تشغيل الخليط وهذا يتطلب زيادة كمية ماء الخلط لغرض ترطيب سطوح كل الحبيبات للوصول إلى درجة التشغيل المطلوبة مما يؤدي إلى تقليل مقاومة الخرسانة المتصلبة الناتجة. ومن جهة أخرى فان الحبيبات المستديرة الشكل تكون سهلة التشغيل وتحتاج إلى كمية اقل من الاسمنت لقلة مساحتها السطحية أما الحبيبات الغير المنتظمة والزاوية فتكون صعبة التشغيل.

6- الملمس السطحي:
إن زيادة خشونة سطح حبيبات الركام ومساميته يؤدي إلى تقليل حركة الحبيبات في الخليط وزيادة كمية الشغل المبذول للتغلب على الاحتكاك الداخلي والى عدم كفاية ملاط الاسمنت اللازم لتغليف سطوح كل الحبيبات وبذلك تقل قابلية الخليط للتشغيل.كما إن خشونة السطح وعدم انتظامه في الأحجار المكسرة المستخدمة في الخرسانة أيضا يسبب تقليل في قابلية التشغيل, وهذا يتطلب زيادة ماء الخلط للحصول على درجة التشغيل المطلوبة.

7- استعمال المضافات:
هناك بعض المواد بدرجة عالية من النعومة تضاف الى مكونات الخليط لغرض تحسين قابليته للتشغيل ولدونته ومنها:

أ- مواد خاملة كيمياويا:
مثل الجير المطفأ, الرمل المطحون, الحجر الجيري المطحون والمواد المماثلة الأخرى حيث تسلك كمادة تشحيم في الخليط وبذلك تزيد من قابلية التشغيل.

ب- مواد فعالة لها خواص بوزولانية:
مثل رماد مسحوق الفحم, رماد قشور الرز, خبث الأفران العالية, التراب الدياتومي, الطين المحروق وما إلى ذلك. إن هذه المواد لها القدرة على التفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم المتحرر من اماهة السليكات مكونة سليكات الكالسيوم المسؤولة عن مقاومة عجينة الاسمنت المتصلبة.

8- استعمال إضافات الهواء المقصود:

إضافات الهواء المقصود هي عبارة عن مواد تضاف إلى الخرسانة الطرية أثناء عملية الخلط بواسطة مواد كيمياوية ذات فعالية سطحية (مثل الدهون الحيوانية والنباتية وأصباغ الأخشاب الطبيعية) لتكوين فقاعات هوائية كروية الشكل مقاسها بين 1000-10 مايكرون. وهذه الفقاعات الهوائية تسلك كقطرات مائية أو كحبيبات من الرمل في داخل الخليط وبذلك تزيد من قابليته للتشغيل ولدونته. هذه الإضافات تستعمل في الأجواء المتجمدة لكي تمنع تفتت الخرسانة الطرية بسبب كبر جم الماء بعد انجماده فيها حيث إن هذه الزيادة بحجم الماء سوف تضيع داخل هذه الفقاعات الهوائية.

9- تأثير الزمن ودرجة الحرارة:

تتصلب الخرسانة الحديثة الخلط بمرور الزمن وذلك قسما من الماء يمتص من قبل الركام, بعضه يفقد نتيجة للتبخر وخصوصا إذا كانت الخرسانة معرضة للشمس أو الرياح وبعضه يستعمل في عملية التفاعل الكيمياوي لمركبات الاسمنت مع الماء, لذلك فان قابلية التشغيل للخرسانة تقل مع مرور الزمن. ولهذا يفضل تأخير فحص قابلية التشغيل إلى حوالي 15 دقيقة بعد عملية الخلط.

تتأثر قابلية التشغيل أيضا بدرجة حرارة المحيط, حيث إنها تقل مع زيادة درجة حرارة المحيط لان قسم من ماء الخلط سوف يتبخر وقسم آخر منه سوف يشارك في التفاعل الكيمياوي لمركبات الاسمنت مع الماء لان ارتفاع درجة الحرارة يحفز ويزيد من هذا التفاعل.

قوام الخرسانة الطرية

قوام الخرسانة الطرية:

في حالة الخرسانة الطرية يشير القوام عن درجة بلل (رطوبة) الخرسانة أو عن سهولة انسيابها. إن الغرض العملي من تحديد قوام الخرسانة هو تأكيد الحصول على خلطة خرسانية قابلة للتشغيل في مختلف الأعمال الخرسانية.

تصنيف قوام الخرسانة الطرية:

يمكن وصف وتصنيف قوام الخرسانة إلى:

1 - جاف (Dry)
2- صلب (Stiff)
3- متوسط (Medium)
4 - لدن (Plastic)
5- مبتل (Wet)
6 - رخو (Sloppy)

طرق تعين قوام الخرسانة الطرية:

هناك طرق متعددة لتعيين قوام الخرسانة منها:

1- فحص الانسياب (Flow Test)
2- فحص الاختراق بطريقة كيلي (Kelly Ball Penetration Test)

1- فحص الانسياب (Flow Test):

يجري هذا الفحص في المختبر لغرض التعرف على قوام الخرسانة ومدى ميلها للانعزال, ويعتبر هذا الفحص قيما في تخمين مدى تماسك مكونات الخلطة الخرسانية مع بعضها البعض.

يمكن تعين انسياب الخرسانة بموجب الطريقة المبينة في المواصفات الأمريكية (ASTM Standard C124-77) وذلك باستعمال قرص دائري قطره 760 مم (انج), كما مبين في الشكل رقم (6), موضوع بحيث يمكن رجه وذلك بإسقاطه مسافة 13 مم (1/2 انج). ينظف القرص بواسطة قطعة قماش مبللة, ثم يوضع قالب اختبار الانسياب, والذي يكون بشكل مخروط ناقص, قطر قاعدته العليا 171 مم (¼ 63 انج) وقطر قاعدته السفلى 254 مم (10 انج), في وسط القرص ويملى بالخرسانة الطرية بطبقتين حيث تدك كل طبقة (25) ضربة بواسطة قضيب رص ذو نهاية مدورة, قطره 16 مم (5/8 انج) وطوله 610 مم (24 انج) ثم يسوى سطح القالب بواسطة مالج وتزال الخرسانة الزائدة من القالب.ينظف سطح القرص المحيط بقاعدة القالب في حالة سقوط خرسانة عليه وبعدها يرفع القالب مباشرة بصورة عمودية ثم يرج القرص 15 مرة وذلك برفعه وخفضه مسافة 13 مم (1/2 انج) في حوالي 15 ثانية وسينتج عن ذلك انسياب الخرسانة على القرص. يقاس معدل قطر الخرسانة المنسابة إلى اقرب 6 مم1/4 انج) وبذا يمكن تعيين انسياب الخرسانة بحساب النسبة المئوية للزيادة في معدل قطر الخرسانة المنتشرة على القرص D مقسوما على القطر الأصلي لقاعدة الخرسانة D_1 أي :

$$\text{النسبة المئوية للانسياب } (\%) = \frac{D_1 - D}{D_1} * 100$$

الجدول رقم (2) يبين عن حدود الانسياب للخرسانة لمختلف درجات القوام, حيث يقل الانسياب إذا كان القوام جافا ويزداد إذا كان مبتلا.

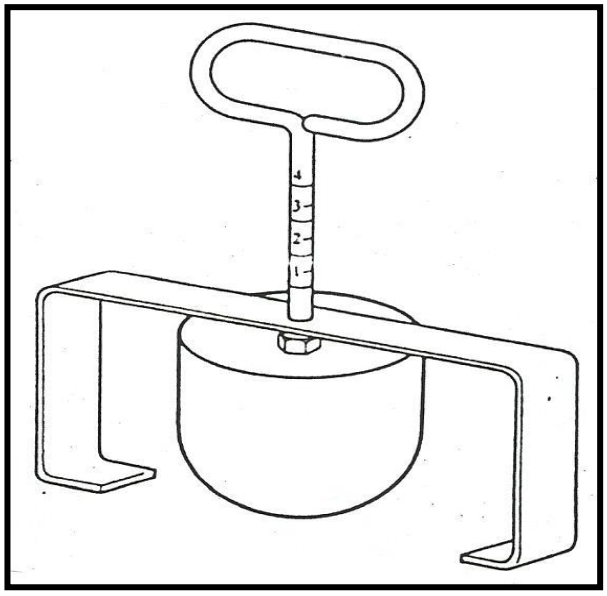
الجدول رقم (2) يبين عن حدود الانسياب للخرسانة لمختلف درجات القوام

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

شكل رقم (6) قرص الانسياب مع القالب

2- فحص الاختراق بطريقة كيلي: (Kelly Ball Penetration Test)

يجري هذا الفحص الحقلي البسيط لغرض السيطرة على قوام الخرسانة وذلك بوضع جسم معدني بشكل نصف كرة, كما مبين في شكل رقم (7), قطره 152 مم (6 انج) نه 13.6كغم (30 باوند) على سطح الخرسانة الطرية ثم تقرأ قيمة اختراق الجسم المعدني للخرسانة الطرية على مقياس الجهاز حيث يزداد الاختراق كلما كان قوام الخرسانة أكثر بللا. إن تفاصيل هذا الفحص مبينة في المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM Standard C360-68).



شكل رقم (7-A) جهاز كرة كيلي للاختراق لفحص قوام الخرسانة

شكل رقم (7-B) جهاز كرة كيلي للاختراق لفحص قوام الخرسانة

يستعمل هذا الفحص لقياس التغيرات التي تحصل في مكونات الخلطة الخرسانية خلال إنتاجها, وعلى سبيل المثال, التغيرات الناتجة عن تغير محتوى الرطوبة في الركام, وكبديل لفحص الهطول لكونه ابسط وأسرع منه ويمكن تطبيقه على الخرسانة في داخل عربة النقل أو فعليا على الخرسانة الموضوعة في القالب. إضافة إلى ذلك

يكون فحص الهطول غير جدير بالاعتماد في حالة استعمال خلطات فقيرة بالاسمنت والتي يجب إن تكون عملية السيطرة عليها جيدة. ولقد وجد بان هناك علاقة بين الاختراق والهطول.

أمثلة محلولة

مثال 1:

بعد إجراء فحص الانسياب للخرسانة الطرية والحصول على النتائج التالية, قطر الخرسانة المنتشرة بعد رفع القالب على قرص الانسياب كانت 500 mm والقطر الأصلي لقاعدة الخرسانة (قاعدة القالب السفلى) هي 254 mm, حدد قوام الخرسانة.

الحل:-

$$\text{النسبة المئوية للانسياب } (\%) = \frac{D_1 - D}{D_1} * 100 = \frac{(500 - 254)}{254} * 100 = 96.850\ \%$$

بعد احتساب النسبة المئوية للانسياب للخرسانة يمكن تحديد قوام الخرسانة باستخدام جدول رقم (2) وهو لدن-مبتل.

مثال 2:

بعد إجراء فحص الهطول للخرسانة الطرية والحصول على النتائج التالية, الهطول 40 mm وعامل الرص 0.86. حدد درجة تشغيل الخرسانة واستعمالاتها, ثم جد مقدار الاختراق الخاص لفحص القوام للخرسانة الطرية (فحص كيلي).

الحل:-

بما إن مقدار الهطول ومقدار عامل الرص معلوم من السؤال, لذلك يمكن تحديد درجة التشغيل للخرسانة وكذلك استعمالاتها باستخدام جدول رقم (1). إذن من جدول رقم (1):-

درجة تشغيل الخرسانة هي واطئة. واستعمالاتها هي: خرسانة للطرق مرصوصة بالأجهزة اليدوية, خرسانة كتلية للأساسات من غير رص, خرسانة للمقاطع القليلة التسليح باستعمال الهزازات.

الانعزال فى الخلطات الخرسانية الطرية (Segregation)

الانعزال:

بصورة عامة, تعريف الانعزال بأنه انفصال مكونات الخليط الغير المتجانس والمتباين التركيب بحيث يصبح توزيعها غير منتظم.

الأسباب الرئيسية لحصول الانعزال:

1- الاختلاف في المقاس الحبيبي لمكونات الخلطة الخرسانية.
2- الاختلاف في الوزن النوعي لمكونات الخلطة الخرسانية.

الأسباب الأخرى لحصول الانعزال:

1- عدم اختيار التدرج المناسب للركام.
2- عدم العناية بعمليات نقل وصب ورص الخرسانة الطرية.
3- عدم اختيار نسب خلط مناسبة لمكونات الخليط.

أنواع الانعزال:

1- انعزال حبيبات الركام الخشن عن باقي مكونات الخليط, يحدث هذا النوع من الانعزال في بعض الخلطات الخرسانية الفقيرة بالاسمنت والجافة جدا.
2- انعزال عجينة الاسمنت عن الخليط, ويحدث ذلك في الخلطات الخرسانية المبتلة القوام.

***(يمكن علاج النوع الأول من الانعزال بإضافة ماء لتحسين تماسك الخليط ولكن إذا زادت كميته عن الحد الذي يجعل الخليط مبتلا جدا, يحصل النوع الثانى من الانعزال)**

التأثيرات السلبية للانعزال:

1- لايسبب تكوين طبقة رقيقة من الاسمنت والماء على سطح الخرسانة والمعروفة بغثاء الخرسانة, وهذه الطبقة تسبب تشقق سطح الخرسانة وتكون طبقة هشة بعد جفاف الماء منها.
2- عدم تجانس الخرسانة بعد صبها في القالب بسبب الانعزال سوف يسبب ضعف في مقاومة الخرسانة المتصلبة ومتانتها.

الإجراءات الواجب اتخاذها لغرض منع أو تقليل من حدوث الانعزال:

1- استعمال ركام خشن ذو وزن نوعي مقارب للوزن النوعي للركام الناعم.
2- استعمال ركام ناعم ذو مقاس أقصى مقارب للوزن النوعي للركام الناعم.
3- اختيار نسب خلط مناسبة للخيط.
4- اختيار ركام ذو تدرج مناسب.
5- اختيار طرق مناسبة لخلط ,صب ,نقل ورص الخرسانة الطرية.
6- عدم إسقاط الخرسانة من ارتفاع كبير ونقلها خلال حوض بشكل قناة مفتوحة من الحديد أو الخشب, وبالأخص إذا كان متغير الاتجاه وكبير الحجم نسبة إلى حجم الخرسانة المنقولة.
7- عند صب الخرسانة يلزم أن تكون بهيئة كتلة ولايسمح لها بالانسياب أو الانزلاق على سطح مائل كما ولايجوز تحركها نحو جوانب القالب باستعمال المالج إذ يجب استعمال الهزازة لهذا الغرض ولتوزيع كتلة الخرسانة على مساحة أوسع.

8- عدم رص الخرسانة لفترة طويلة لان ذلك سبب انعزال عجنية الاسمنت وتوجهها نحو الأعلى وانعزال الحصى وحركته نحو الأسفل.
9- استعمال مضافات الهواء المقصود.

النضح أو النزف في الخرسانة الطرية (Bleeding)

النضح:

النضح هو ظاهرة ارتفاع بعض الماء الموجود في الخليط الى سطح الخرسانة الحديثة الصب ويطلق عليها أيضا ظاهرة اكتساب الماء.

أسباب حصول النضح:

تحصل هذه الظاهرة بسبب عدم إمكانية المكونات الصلبة في الخليط للاحتفاظ بجميع ماء الخلط عندما تترسب إلى الأسفل.

التأثيرات السلبية للنضح:

1- نتيجة لحدوث النضح فان الطبقة العليا م الخرسانة تكون مبتلة جدا وتحوي نسبة عالية من الماء/الاسمنت مما يؤدي إلى تكوين فراغات بهذه الطبقة بعد تبخر الملء منها وجعلها مسامية وبالتالي تكون الخرسانة الناتجة ضعيفة وغير متينة.
2- إذا كانت سرعة تبخر من الخلطة أسرع من النضح, حصل الانكماش اللدن مسببا تشقق الخرسانة.
3- ثناء عملة النضح قد ينحصر قسما من الماء المرتفع إلى الأعلى تحت حبيبات الركام الخشن أو قضبان التسلح الأفقية مكونا فراغات داخل الخرسانة ومؤديا إلى إضعاف التماسك بن حبيبات الركام وعجينة الاسمنت من جهة وبن الخرسانة وحدد التسلح من جهة أخرى, كما وتسبب تلك الفراغات زادة نفاذة الخرسانة بالاتجاه الأفقي ومن ثم تقليل متانتها.
4- عند ارتفاع الماء إلى الأعلى, يحمل معه كمية كبيرة من حبيبات الاسمنت الناعمة والتي تظهر على السطح بهيئة غثاء الخرسانة وهذه الطبقة تسبب تشقق سطح الخرسانة وتكون طبقة هشة بعد جفاف الماء منها. وهذه الطبقة تقلل تماسك الطبقة العليا بالتي تحتها لذلك يلزم إزالتها قبل الاستمرار في صب الخرسانة باستعمال فرشاة ومن ثم غسل السطح بعناية.

الإجراءات الواجب اتخاذها لغرض منع أو تقليل من حدوث النضح:

1- زيادة نعومة الاسمنت المستعمل في الخلطة الخرسانية.
2- زيادة كمية الركام الناعم, الذي يقل مقاس حبيباته عن 150 مايكرون في الخليط.
3- زيادة كمية الاسمنت في الخلطة.
4- استعمال بعض المواد البوزولانية.
5- اختيار نسب خلط مناسبة للخليط.
6- اختيار ركام ذو تدرج مناسب.
7- اختيار طرق مناسبة لخلط , صب , نقل ورص الخرسانة الطرية.

الانكماش اللدن

الانكماش اللدن:

نتيجة لحدوث النضج فأن الطبقة العليا الخرسانة تكون مبتلة جداً وتحوي نسبة عالية من الماء /إلى سمنت مما يؤدي إلى تكون فراغات بهذه الطبقة بعد تبخر الماء منها وجعلها مسامية و بالتالي تكون الخرسانة الناتجة ضعيفة المقاومة وغير متينة وإذا كانت سرعة تبخر الماء من الخلطة أعلى من سرعة النضج يحصل الانكماش اللدن(Plastic Shrinkage) مبيناً تشقق الخرسانة في بعض الأحيان يستعمل مسحوق الامنيوم الذي يسبب تمدد عجينة الاسمنت قليلاً لتجنب تأثير الانكماش الحاصل نتيجة النضج.

كثافة (وحدة الوزن في الهواء) للخرسانة الطرية

كثافة (وحدة الوزن في الهواء) للخرسانة الطرية:

من المعروف انه يتم إيجاد كثافة الخرسانة الطرية المرصوصة عند قياس قابلية التشغيل أو المحتوى الهوائي.ويتم إيجاد الكثافة بإيجاد وزن الخرسانة الطرية المرصوصة في إناء قياسي معلوم الحجم والكتلة. وطريقة إجراء ذلك مثبتة في المواصفتين BS 1881 : Part 107 :1983و ASTM C138-81.
والقانون المستعمل لإيجاد الكثافة للخرسانة الطرية هو:

$$\text{الكثافة للخرسانة الطرية (كغم / م}^3\text{)} = \frac{\text{وزن الخرسانة الطرية المرصوصة (كغم)}}{\text{حجم الخرسانة الطرية , حجم الإناء القياسي, (م}^3\text{)}}$$

إذا عرفت كثافة الخرسانة الطرية ,γ_c , فيمكن إيجاد حجم الخرسانة من معرفة كتلة مكونات الخرسانة, لنفرض ان كتل مكونات دفعة واحدة من الخرسانة كما يأتي:-

W = كتلة الماء
C = كتلة الاسمنت
A_f = كتلة الركام الناعم
A_c = كتلة الركام الخشن

عندئذ فان حجم دفعة واحدة من الخرسانة المرصوصة, (V), تحسب كما يأتي:-

$$V = \frac{W + C + A_f + A_c}{\gamma_c}$$

وكذلك محتوى الاسمنت (أي كمية الاسمنت لوحدة حجوم الخرسانة) :

$$\frac{C}{V} = \gamma_c - \frac{A_f + A_c + W}{V}$$

العوامل المؤثرة على كثافة الخرسانة:

1- الطريقة المستعملة لرص الخرسانة.
2- مدة رص الخرسانة.
3- نوع الركام المستخدم.
4- نسب خلط الخرسانة.
5- كمية المواد الناعمة في الخلطة.
6- تدرج الركام المستعمل.
7- نوعية وكمية المضافات المستخدمة.
8- طريقة معالجة الخرسانة.

تزداد كثافة الخرسانة عندما ترص الخرسانة رصا كاملا وذلك باختيار طريقة الرص المناسبة والمدة الكافية للرص. وكذلك تزداد الكثافة للخرسانة باختيار نسب خلط جيدة وركام ذو وزن نوعي عالي وذو مسامية قليلة. أيضا تزداد الكثافة للخرسانة باستعمال ركام ذو تدرج مناسب بحيث تدخل الحبيبات الصغيرة بين الحبيبات الكبيرة.
عندما تعالج الخرسانة بشكل جيد من حيث اختيار الطريقة الفعالة والمدة الكافية لذلك فان نواتج الاماهة سوف تزداد وتمليء المسامات بحيث تقلل من المحتوى الهوائي للخرسانة. أيضا هنالك مجموعة من المضافات عندما تستخدم تعمل على تقليل محتوى الهواء داخل الخرسانة.
تعبر كثافة الخرسانة الاعتيادية أحيانا عن الكثير من الخواص للخرسانة, فعندما تزداد الكثافة تعطي دليلا عن نفاذية ومسامية قليلة, محتوى هوائي قليل, مقاومة وتحمل عالي, متانة وديمومة كبيرة, مقاومة للظروف الجوية عالية, تجانس واستقرارعالي.

مثال:

خلطة خرسانية بنسب وزنية (1.8: 4.5 : 1) لها نسبة ماء إلى الاسمنت تعادل 0.6 احسب محتوى الخلطة من الاسمنت إذا كانت كثافتها المرصوصة تساوي 2400 كغم / م^3.

الجواب:

تحسب الأوزان لمتر مكعب واحد من الخرسانة.

$$\frac{W}{C} = 0.6 \text{ ----------> } W = 0.6\,C$$

$$V = \frac{W + C + A_f + A_c}{\gamma_c}$$

$$1 = \frac{0.6\,C + C + 1.8\,C + 4.5\,C}{2400}$$

$$2400 = 0.6\,C + C + 1.8\,C + 4.5\,C$$

$$2400 = 7.9\,C$$

$$C = \frac{2400}{7.9}$$

$$C = 303.797 \text{ Kg / m}^3$$

إذن محتوى الخلطة من الاسمنت تساوي 303.797 كغم / م^3 .
محتوى الركام الناعم = 1.8 * C = 1.8* 303.797 = 546.834 كغم / م^3 .
محتوى الركام الخشن = 4.5 * C = 1.8 * 303.797 = 1367.087 كغم / م^3 .
محتوى ماء الخلط = 0.6 * C = 0.6 * 303.797 = 182.278كغم / م^3 .

معادلة الحجوم المطلقة لحساب اوزان مكونات الخرسانة:

تستعمل معادلة الحجوم المطلقة لحساب اوزان مكونات الخرسانة من الاسمنت, الماء, الركام الناعم والركام الخشن. والمعادلة هي:-

$$1000 = \frac{\text{وزن الماء}}{\text{الوزن النوعي للماء}} + \frac{\text{وزن الركام الخشن}}{\text{الوزن النوعي للركام الخشن}} + \frac{\text{وزن الركام الناعم}}{\text{الوزن النوعي للركام الناعم}} + \frac{\text{وزن الاسمنت}}{\text{الوزن النوعي للاسمنت}}$$

مثال:
استعمل معادلة الحجوم المطلقة لحساب اوزان مكونات الخرسانة من الاسمنت , الماء , الركام الناعم والركام الخشن اذا كانت النسبة الوزنية للخلطة الخرسانية (4 : 2 : 1) , نسبة الماء الى السمنت 0.5 , الاوزان النوعية للاسمنت 3.15 , للماء 1 , للركام الناعم 2.66 , وللركام الخشن 2.55 .

$$1000 = \frac{\text{وزن الماء}}{\text{الوزن النوعي للماء}} + \frac{\text{وزن الركام الخشن}}{\text{الوزن النوعي للركام الخشن}} + \frac{\text{وزن الركام الناعم}}{\text{الوزن النوعي للركام الناعم}} + \frac{\text{وزن الاسمنت}}{\text{الوزن النوعي للاسمنت}}$$

$$1000 = \frac{0.5\,C}{1} + \frac{4C}{2.55} + \frac{2C}{2.66} + \frac{1C}{3.15}$$

$$0.317\,C + 0.751\,C + 1.568\,C + 0.5\,C = 1000$$
$$3.136\,C = 1000$$
$$C = 1000/3.136$$
$$C = 318.877\ kg/m^3$$

وزن الاسمنت = 318.877 kg/m^3
وزن الماء = 0.5 *318.877 = 159.438 kg/m^3
وزن الركام الناعم = 2 * 318.877 = 637.754 kg/m^3
وزن الركام الخشن = 4 * 318.877 = 1275.508 kg/m^3

تأثير الفراغات الهوائية على الخرسانة وطرق قياسها
MEASUREMENT AND EFFECT OF AIR CONTENT ON THE PROPERTIES OF CONCRETE

الفراغات الهوائية الموجودة فى الخرسانة نوعان:

1 - الفراغات الهوائية الناتجة عن الهواء المحصور عرضيا.
2 - الفراغات الهوائية الناتجة عن إضافة مضافات الهواء المقصود.

أولا - الفراغات الهوائية الناتجة عن الهواء المحصور عرضيا:

هذه الفراغات ناتجة عن انحصار الهواء وتكون كبيرة وغير منتظمة الشكل وتكون احيانا متصلة مع بعضها مكونة ممرات داخل الخرسانة. وتتكون هذه الفراغات في الخرسانة بسبب عدم الرص أو الرص الغير كامل, وكذلك بسبب عدم اختيار نسب خلط جيدة, أو بسبب عدم اختيار التدرج المناسب للركام, أو عدم استخدام الطرق المناسبة لخلط ونقل وصب ورص الخرسانة, أو عندما تستخدم كميات كبيرة من الماء في الخليط, أو استخدام أنواع من الركام كالرقائقي أو المستطال حيث ينحصر الهواء أسفل هذه الأنواع.

التأثيرات السلبية للفراغات الناتجة عن الهواء المحصور:

1 - تقلل من متانة الخرسانة
2 - تقلل من مقاومة الخرسانة وتحملها
3 - تزيد من نفاذية الخرسانة ومساميتها
4 – تعمل وتساعد على صدا حديد التسليح
5 – يضعف من مقاومة الخرسانة للظروف الجوية

الإجراءات الواجب اتخذها لغرض منع وتقليل من انحصار الهواء داخل الخرسانة:

1 – اختيار نسب خلط مناسبة لإنتاج الخرسانة
2 – استعمال ركام ذو تدرج مناسب
3 – رص الخرسانة رصا كاملا باستعمال واختيار الطرق المناسبة للرص.
4 – العناية بعمليات خلط ونقل وصب ورص الخرسانة

ثانيا - الفراغات الهوائية الناتجة عن إضافة مضافات الهواء المقصود:

يمكن تعريف الهواء المقصود في الخرسانة بأنه هواء مدمج بقصد في الخرسانة الطرية خلال عملية الخلط بواسطة مواد مناسبة تؤدي إلى تكوين فقاعات هوائية صغيرة جدا, يتراوح قطرها بين (0.01-1.0) ملم, موزعة بصورة منتظمة خلال الكتلة الخرسانية وذلك, بصورة رئيسية, وتستعمل لغرض:
1 – زيادة قابلية التشغيل للخرسانة الطرية
2 – زيادة مقاومة الخرسانة الطرية للانجماد ومنع تلف وتكسر الخرسانة بفعل كبر حجم الماء بسبب انجماده داخل الخرسانة حيث إن هذه الزيادة في الحجم سوف تضيع داخل هذه الفراغات.
3 – زيادة متانة الخرسانة المتصلبة وذلك بزيادة مقاومتها لدورات الانجماد والذوبان التي تتعرض لها

تكون هذه الفراغات مفصولة عن بعضها البعض وبذلك لاتشكل ممرات لجريان الماء مما يشير عدم زيادة نفاذية الخرسانة بالهواء المقصود. كما إن هذه الفجوات الهوائية لاتمتليء بنواتج عملية الاماهة وذلك لان جسيمات الجل تتكون فقط عند توفر الماء. أيضا هذه الفراغات لها تأثير سلبي على المقاومة للخرسانة حيث أنها تقللها ولكن يمكن تعويض هذا التقليل في المقاومة وذلك بتقليل محتوى الماء في الخليط الخرساني لان هذه الفراغات سوف تحسن من قابلية التشغيل.

طرق قياس محتوى الهواء فى الخرسانة الطرية:

هناك ثلاث طرق لقياس محتوى الهواء الكلي في الخرسانة الطرية, ونظرا لعدم إمكانية تمييز الهواء المقصود, في هذه الفحوصات, عن الفجوات الكبيرة للهواء المحصور عرضيا, يكون من الضروري رص الخرسانة المراد فحصها بصورة تامة.

أ- الطريقة المثقالية (Gravimetric Method) :

تستند هذه الطريقة القديمة على مقارنة كثافة الخرسانة الحاوية على هواء , ρ_a , مع الكثافة المحسوبة للخرسانة الخالية منه وذات نسب خلط مماثلة , ρ . أما حجم الهواء معبرا عنه كنسبة مئوية من الحجم الكلي للخرسانة يمكن احتسابه من العلاقة التالية:

$$\text{النسبة المئوية لمحتوى الهواء (\%)} = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho}\right) * 100$$

إن تفاصيل هذه الطريقة مبينة في المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM C138-71) ويمكن استعمالها عندما يكون الوزن النوعي للركام ونسب الخلط ثابتة.

ب - الطريقة الحجمية (Volumetric Method) :

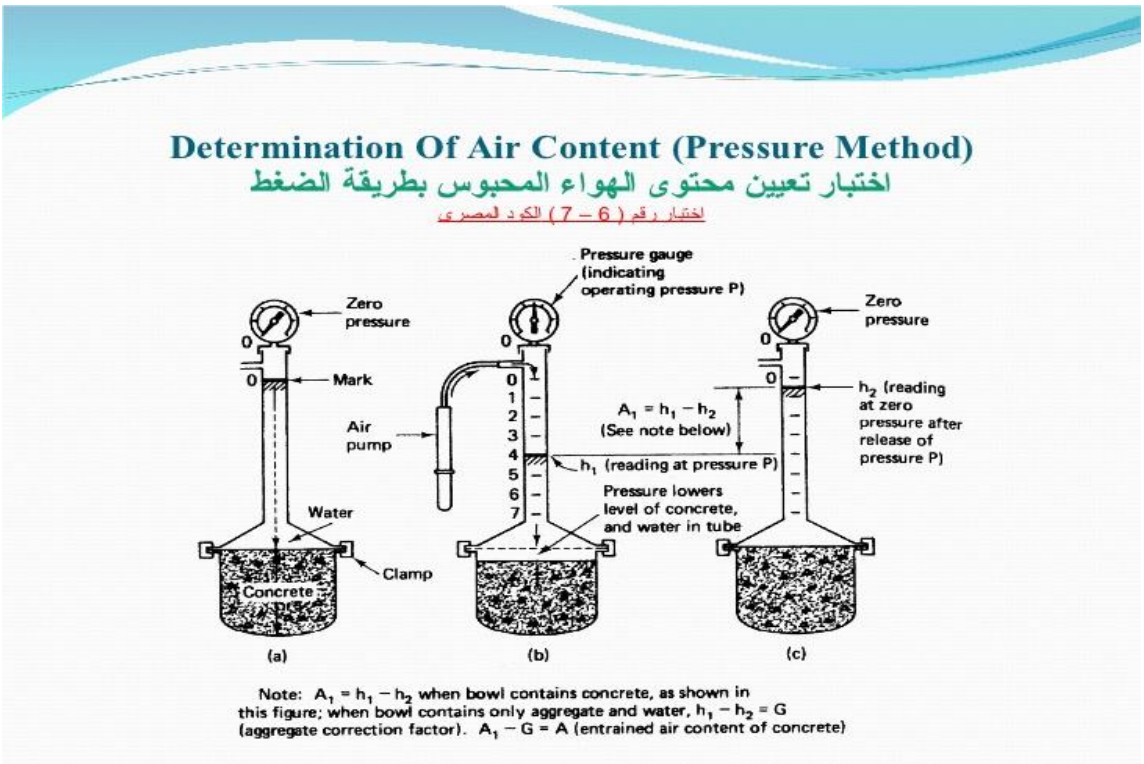
في هذه الطريقة يتم تعيين الفرق في حجم نموذجي الخرسانة قبل وبعد طرد الهواء منها, وذلك باستعمال قنينة الكثافة (Pycnometer). يزال الهواء بالرج (Agitation) , بالدحرجة (Rolling) وبالتحريك. أما تفاصيل هذه الطريقة فمبينة في المواصفات القياسية الأمريكية (ASTM Standard C173-78), والصعوبة الرئيسية في هذا الفحص تمكن في حقيقة كون وزن الماء الذي يحل محل الهواء قليلا مقارنة بالوزن الكلي للخرسانة.

جـ - طريقة الضغط (Pressure Method) :

تعتبر هذه الطريقة اشهر الطرق وأكثرها ملائمة للاستعمال الحقلي, إذ تستند على العلاقة بين حجم الهواء والضغط المسلط (في درجة حرارة ثابتة) بموجب قانون بويل وعند استعمال مقياس الهواء لا يتطلب عمل حسابات وذلك لوجود تدريجات تعطي النسبة المئوية للهواء مباشرة. والشكل رقم (1) يبين نموذج لقياس الهواء, وتتلخص طريقة الفحص بملاحظة النقصان الحاصل في حجم نموذج من الخرسانة عندما تتعرض إلى ضغط معلوم حيث يسلط هذا الضغط بواسطة مضخة صغيرة ويقاس بواسطة مقياس الضغط. إن تفاصيل هذه الطريقة مبينة في المواصفات الأمريكية (ASTM Standard C 231-78) والمواصفات القياسية البريطانية (B.S.1881:Part 2:1970) .

شكل (1-A): جهاز لقياس محتوى الهواء بطريقة الضغط

شكل (1-B): جهازمن نوع اخر لقياس محتوى الهواء بطريقة الضغط



شكل (C-1): يوضح كيفية قياس محتوى الهواء بطريقة الضغط

وزن الخرسانة والنتاج وكمية الاسمنت فى الخرسانة الطرية
UNIT WEIGHT,CEMENT CONTENT AND YIELD OF FRESH CONCRETE

يتم إيجاد حجم الخرسانة بحساب مجموع الحجوم الصلبة للاسمنت والحصى والرمل والماء وتضاف من 1% إلى 2 % من مجموع هذه الحجوم لحساب الهواء المحصور. والمثال أدناه يبين اسلوب إيجاد هذه القيم.

مثال:

المطلوب إيجاد وحدة الوزن والنتاج وكمية الاسمنت لخلطة خرسانية بنسبة (4 : 2 : 1) بالوزن وهي نسبة الاسمنت إلى الرمل إلى الحصو وان كمية ماء الخلطة 26.0 لتر لكل كيس من الاسمنت علما إن وزن الكيس الواحد هو 50 كغم. الوزن النوعي للسمنت 3.15 , الوزن النوعي للماء 1 , الوزن النوعي للرمل 2.65 , الوزن النوعي للحصى 2.65 .(افرض ان نسبة الفراغات 1%).

الحل:

	الماء	الاسمنت	الرمل	الحصى
النسب بالوزن		1	2	4
وزن الخلطة على أساس كيس واحد من الاسمنت (كغم)	26 50*0.52= 26	50*1= 50	50*2= 100	50*4= 200
الوزن النوعي	1	3.15	2.65	2.65
الحجم الصلب ($م^3$)	0.026	0.015	0.037	0.075

مجموع الأحجام الصلبة = 0.153 متر مكعب
حجم الخرسانة = حجم الفراغات + مجموع الأحجام الصلبة (حجم الخرسانة بدون فراغات)

حجم الخرسانة = (0.153 *1 %) + 0.153 = 0.154 متر مكعب (بفرض 1% فراغات في الخرسانة)

الوزن الكلي للخلطة = وزن الاسمنت + وزن الماء + وزن الركام الناعم + وزن الركام الخشن
= 50 + 26 + 100 + 200 = 376 كغم

$$\text{وحدة وزن الخرسانة} = \frac{\text{الوزن}}{\text{الحجم}} = \frac{376}{0.154} = 2441.558 \text{ كغم/ م}^3$$

$$= 2.441 \text{ طن/ م}^3$$

النتاج (Yield) للخرسانة الطرية: هي كمية الخرسانة الطرية الناتجة عن استعمال كيس واحد من الاسمنت ويحسب بالطريقة التالية:

$$\text{النتاج} = \frac{\text{الحجم الكلي للخرسانة}}{\text{عدد الأكياس الاسمنت المستعملة في الخلطة}} = \frac{0.154}{1}$$

= 0.154 متر مكعب / كيس واجد من الاسمنت

عامل الاسمنت للخلطة الخرسانية: هو كمية الاسمنت معبرة بالأكياس لكل متر مكعب من الخرسانة وحسابها كما يلي:

$$\text{عامل الاسمنت} = \frac{1}{\text{النتاج}} = \frac{1}{0.154}$$

= 6.493 كيس سمنت / متر مكعب من الخرسانة

اذن اوزان مكونات الخرسانة لانتاج متر مكعب واحد من الخرسانة هي:

وزن الاسمنت = عدد الاكياس * وزن الكيس الواحد = 6.493 * 50 = 324.650 كغم / م^3.
وزن الماء = وزن الماء لكل كيس * عدد الاكياس = 26 * 6.493 = 168.818 كغم / م^3.
أو وزن الماء = نسبة الماء/الاسمنت * وزن الاسمنت = 0.52 * 324.650 = 168.818 كغم / م^3.
وزن الركام الناعم = 2 * وزن الاسمنت = 2 * 324.650 = 649.300 كغم / م^3.
وزن الركام الخشن = 4 * وزن الاسمنت = 4 * 324.650 = 1298.600 كغم / م^3.

نقل الخرسانة الطرية (Handling):

هناك طرق متعددة لنقل الخرسانة من الخلاط إلى موضعها النهائي في الموقع وقدتم شرح هذه الطرق في فقرة (الخرسانة الجاهزة الخلط) وان اختيار إحدى هذه الطرق يعتمد على الجوانب الاقتصادية وعلى كمية الخرسانة المنقولة.
وهناك وسائل متعددة تتراوح بين استعمال العربات اليدوية والأحزمة الناقلة إلى الشاحنات الخاصة ومضخات الخرسانة ولكن المهم وفي جميع الحالات وجوب إن تكون الخلطة الخراسانية ملائمة للأسلوب والطريقة التي يتم اختيارها أي يجب إن تبقى الخلطة متماسكة ولا تتعرض للانعزال ويجب تجنب اختيار أي طريقة لنقل الخرسانة تسبب انعزال مكوناته.

وضع (صب) الخرسانة:

إن عمليتي صب الخرسانة ورصها تجري بشكل متداخل وتكون تقريبا في وقت واحد وأنهما عمليتان مهمتان لتأمين متطلبات مقاومه الخرسانة وعدم النفاذين ومتانة الخرسانة المتصلبة في المنشات . إن الهدف الأساس في عمليه صب الخرسانة هو وضع الخرسانة وتكديسها في اقرب موقع لمكانها النهائي لتجنب حدوث الانعزال و من اجل تحقيق هذا الهدف يجب اخذ النقاط المثبتة في أدناه بنظر الاعتبار:

1- **يجب تجنب نقل الخرسانة بالمجرفة اليدوية وتوزيعها باستعمال الهزازات.**
2- **يجب وضع الخرسانة بطبقات متجانسة وليس على شكل أكوام ذات جوانب منحدرة.**
3- **يجب إن يتماشى سمك الطبقة الواحدة من الخرسانة مع أسلوب رصها بحيث يمكن التخلص من الهواء الذي قد ينحصر في أسفلها.**
4- **يجب أن تتوازن سرعة صب الخرسانة وإكمال رصها.**
5- **إذا كان المطلوب إنهاء جيد ولون متناسق ومنتظم بالنسبة للأعمدة والجدران يجب إملاء القالب بسرعة لا تقل عن مترين بالساعة وتجنب التأخير (التأخير الطويل يؤدى إلى تكون مفاصل واضحة في الخرسانة).**
6- **يجب رص كل طبقة بشكل كامل قبل إضافة الطبقة الثانية ويجب كذلك إن توضع الطبقات بحيث كل طبقة توضع على طبقة لا تزال في حالتها اللدنة للحصول على تداخل في الإنشاء.**
7- **يجب تجنب أي تعارض بين الخرسانة والقالب أو مع حديد التسليح, بالنسبة للمقاطع العميقة يستعمل أنبوب طويل أو أنبوب قمعي للتأكد من إيصال الخرسانة لموقعها المطلوب ولمنع الانعزال.**

8- يجب وضع الخرسانة بمستويات عمودية ,وعند صب الخرسانة في قوالب أفقية أو مائلة يجب وضع الخرسانة بشكل شاق ولي فوق الخرسانة التي سبقتها وليس بعيدا عنها وإذا تجاوز ميل القالب (15) درجات يجب استعمال خشبة منزلية للسيطرة على الخرسانة.

رص الخرسانة (Compaction Concrete)

ترص الخرسانة,بصوره رئيسية ,لطرد الهواء المحصور (Entrapped Air) وللحصول على أقصى كثافة ولزيادة قوى الربط بين مكونات الخرسانة من جهة وبين الخرسانة وحديد التسليح من جهة أخرى تجرى عمليه الرص بالطرق التالية:

1- الرص بالقضبان (Tamping Rods) الحديدية أو الخشبية للخرسانة المصبوبة موقعيها (Cast In Situ) أو المسبقة الصب (Precast) وتسمى هذه الطريقة بطاريقه اليدوية.
2- الهزازات (Vibrators) التي تسلط على الخرسانة المصبوبة موقعيها أو اكمال الخرسانة المسبقة الصب.
3- القوة المركزية (Centrifugal Force) بتدوير الجسم المراد رصه ويستعمل هذا النوع من الرص في الخرسانة المسبقة الصب.
4- بالضغط (Pressure) على الخرسانة ويستعمل هذا النوع من الرص قي الخرسانة المسبقة الصب ايضا.
5- بالصدم (Shock) هذا النوع من الرص يستعمل في الخرسانة المسبقة الصب ويتم ذلك بإسقاط القالب من مسافة قصيرة على جسم صلب.

تستعمل الطرق اليدوية في الأحوال الاعتيادية وفي الخلطات المبتلة القوام بينما تستعمل الطرق الميكانيكية في الإعمال الهامة والكبيرة والتي يراد فيها الحصول على خرسانة جيده وباستعمال الهزازات يمكن استعمال خلطات اجف قواما (عامل الرص اقل من حوالي (0.75) قد يصل الى (0.6) من تلك المرصوصة يدويا.

وبذلك يمكن الحصول على مميزات عديدات:

1- زيادة مقاومة الخرسانة للانصقاط والإنشاء
2- زيادة كثافة الخرسانة
3- تقليل درجة الامتصاص
4- زيادة مقاومة الخرسانة للعوامل الجويه
5- زيادة التماسك والترابط بين مكونات الخرسانة
6- زيادة التماسك والترابط بين الخرسانة وحديد التسليح
7- تقليل التغيرات ألحجميه
8- استعمال كمية ماء خلط قليله يقلل من حدوث الانعزال لمكونات الخرسانة تجمع ماء الخلط على سطح الخرسانة بعد عمليه صبها ورصها.

يتضح مما ذكر أعلاه بان طرق الرص المختلفة تتطلب خلطات ذات قابلية تشغيل مختلقة, فالخلطات الجافة جدا لا يمكن رصها رصا كافيا بالطريفة اليدوية وبعكسه فانه لا يمكن رص الخلطات المبتلة جدا باستعمال الهزازات الميكانيكية وذلك لحصول إلا انعزال. إضافة إلى ذلك تحتاج الخلطات المختلفة القوام إلى هزازات مختلفة للحصول على رص متكامل وبذلك فان قوام الخرسانة وخصائص الهزازات المتوفرة يجب إن تكون منسجمة كليا

يمكن تصنيف الهزازات إلى الأنواع التالية:

أ- الهزازات الداخلية (Internal Vibrators):

تكون على شكل اسطوانة نحتوي على ثقل دوار لا مركزي , تغطس وقتيآ في الخرسانة الطرية لتوليد قوى توافقية لذ تعرف بالهزازات الغاطسة (Immersion Vibration) يصل الحد الأعلى للاهتزازات ألتر ضدية

في هذه الهزازات الحد (1200) دوره اهتزازية في الدقيقة والحد الأدنى يتراوح بين (5000- 3500) دورة اهتزازية في الدقيقة تجري عملية للرص لكل (1-0.5) متر من الخرسانة ولمدة (5-30) ثانية وحسب قوام الخليط وقد تحتاج بعض الخلطات فترة دقيقتين تقريبا .
إن الإنهاء يعتمد على مظهر سطح الخرسانة والذي يجب إن يكون خاليا من الفجوات ولا يحتوي مزيد من المونة. ومن المفضل سحب الهزازة من الخرسانة بمعدل حوالي (80) ملم / ثانية بحيث يمتلئ الفراغ المتروك كليا ولا يحصر هواء في الداخل ,كما وانه من الضروري تغطيس الهزازة خلال العمق الكلي لطبقة الخرسانة الطرية ألموضوعه حديثا زائدا الطبقة إلى تحتها فيما إذا كانت لدنة وبذلك يمكن تجنب المستويات الضعيفة في منطقة اتصال الطبقتين والحصول على كتلة خراسانية واحدة.
وهذه الهزازات هي أفضل أنواع الهزازات المستعملة لرص الخرسانة وذالك لأنها تؤثر بصوره مباشره على الخرسانة كما ويمكن تحريكها بسهوله داخل الخرسانة لتوزيع الحركة الاهتزازية خلالها. وقد يصل القطر الاسطواني لهذه الهزازات إلى حد (20) ملم وبذلك يمكن استعمالها بسهوله في المقاطع الخرسانيه الكثيفة التسليح.

ب- <u>الهزازات الخارجية (External Vibrators):</u>

تثبت هذه الهزازات بإحكام على سطوح القوالب بواسطة ماسكات خاصة فتتم عمليه الاهتزاز للقوالب والخرسانة سويه وذلك سيفقد جزء من الشغل المنجز اللازم للحصول على رص متكامل للخرسانة في رج جوانب القالب المثبت أحكام لمنع تسرب الماء الموجود في الخرسانة إلى الخارج.
إن مبدأ الهزازات الخارجية مماثل للهزازات الداخلية ولأكن الاهتزازات الترددية غالبا ما تتراوح بين (3000-6000) دوره اهتزازية في الدقيقة وقد تصل في بعض الاهتزازات إلى (9000) دوره اهتزازية في الدقيقة.
تستعمل هذه الاهتزازات في عملية رص الوحدات الخرسانيه المسبقة الصب (Precast) أو في رص المقاطع الخرسانية المصبوبة في الموقع والتي يكون عرضها أو سمكها قليلا بحيث لايمكن استعمال الهزازات الداخلية فيها . وعند استعمال الهزازات الخارجية يلزم صب الخرسانة بطبقات مناسبة العمق وذلك لصعوبة طرد الهواء من الطبقات الخرسانيه السميكة العمق كما ويجب تبديل موقع الهزازة بين فترة وأخرى لتوزيع الحركة الاهتزازية خلال ألكتله الخرسانية.

جـ - <u>المنضدة الهزازة (Vibrating Table):</u>

عند استعمال هذه الهزازة توضع القوالب على سطحها بعكس الحالة عند استعمال الهزازة الخارجية حيث تثبت الهزازة على السطح الخارجي للقالب ,ولكن يتم ايضآ رص الخرسانة والقالب معا وبذلك يفقد جزء من الشغل المبذول للحصول على رص كلي للخرسانة في رج القالب. تختلف حوم مناضد الاهتزاز وتكون عادة مزودة بأثقال لا مركزية يمكن ضبطها للتحكم في سرعتها وسعة ذبذبتها وتستخدم هذه المناضد في رص وحدات الخرسانة المسبقة الصب إثناء إنتاجها حيث تمتاز برص الخرسانة بصورة متجانسة .

د - <u>الهزازات السطحية (Surface Vibrators) :-</u>

هناك أنواع مختلفة من الهزازات تستعمل لاغراض خاصة ومنها التي تستعمل في الخرسانة الكتلية كالخزانات والسدود. تتكون من لوحة مستوية (Flat Plate) يركب عليها جهاز الاهتزاز, وبعد صب الخرسانة ورصها بالهزازات الداخلية يمر على سطحها ألخرجي بالهزازات السطحية كي يتم إخفاء جميع حبيبات الركام الكبير للحصول على سطح مستوي وصقيل.

هـ - <u>الحادلة الهزازة (Vibrating Rollers) :-</u>

تستعمل لرص البلاطات الرقيقة السمك (Thin Slabs).

معالجة الخرسانة (Curing of Concrete) :

بغية الحصول على خرسانة جيدة فانه من الضروري معالجتها, بعد عملية وضع الخليط المناسب في محيط ملائم خلال المراحل المبكرة من التصلب. ويطلق تعبير المعالجة على الاسلوب المستعمل لتحفيز اماهة الاسمنت ويشمل السيطرة على درجة الحرارة وحركة الرطوبة من والى الخرسانة.
وبصورة ادق فان الهدف من المعالجة هو المحافظة بقدر الامكان على ابقاء الخرسانة مشبعة او قريبة من الاشباع لحين ملىء الفراغات التي كانت اصلا مملوءة بالماء في عجينة الاسمنت الطرية بالكمية المرغوبة من نواتج عملية الاماهة.
ان ضرورة الحاجة الى المعالجة تاتي من حقيقة حصول اماهة الاسمنت فقط عندما تكون المسامات الشعرية مملوءة بالماء. ولهذا السبب يكون من الضروري منع فقدان الماء من المسامات الشعرية نتيجة للتبخر.
بالاضافة لذلك فان الماء المفقود داخليا يسبب الجفاف الذاتي لابد من تعويضه من الماء الخارجي اي يجب جعل دخول الماء الى الخرسانة ممكنا.
يعتمد تبخر الماء من الخرسانة, بعد وضعها مباشرة, على الرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء المحيط وعلى سرعة الرياح والتي تؤثر على تغير الهواء الموجود فوق سطح الخرسانة كما وان الفرق بين درجة حرارة الخرسانة والهواء يؤثر ايضا على فقدان الماء من الخرسانة. ولهذا فان الخرسانة المشبعة في النهار ستفقد الماء خلال الليل البارد, وهذه الحالة تحدث ايضا عند صب الخرسانة في جو بارد حتى ولو كان مشبعا.
من الضروري الاشارة هنا بان الماء الفعلي المفقود يعتمد على نسبة المساحة السطحية/حجم النموذج.

طرق معالجة الخرسانة (Methods of Curing Concrete) :

من الممكن تقسيم طرق المعالجة إلى ثلاثة أصناف هي:-

1- تغطية سطح الخرسانة بطبقة من الماء أو أي مادة رطبة لمنع التبخر وباستعمال الأساليب التالية:-

أ- إعداد بركة ماء على سطح الخرسانة بعد تجميدها النهائي.
ب- الرش بالماء.
ج - تغطية الخرسانة بنسيج قطبي (Burlap) رطب أو أي مادة مشابهة بأقرب وقت بعد وضع الخرسانة في محلها والمحافظة على رطوبتها الدائمية ولأطول فترة ممكنة.
د- الغمر بالماء.

2- استعمال وسط عديم النفاذية أو أي طريقة أخرى لتغطية سطح الخرسانة بغية منع أو تقليل فقدان الماء وكما يلي:-

أ- تغطية السطح بورق مانع الرطبة.
ب- ترك القالب محاطا بالخرسانة.
ج - تغليف سطح الخرسانة بغلاف عديم النفاذية (مثلا استعمال أغطية النايلون (البولي ثيلين)).
د - استعمال مواد كيمياوية لتغطية سطح الخرسانة حيث تنشر أو ترش كما في حالة استعمال كلوريد الكالسيوم وسيليكات الصوديوم.

3- المعالجة المسرعة :وذلك برفع درجة حرارة الخرسانة عندما تكون محافظة على رطوبتها وبأتباع الأساليب التالية:
أ- معالجة بالبخار تحت ضغط منخفض.
ب- معالجة بالبخار تحت ضغط مرتفع.
ج - تسخين الخرسانة بإمرار تيار كهربائي فيها.

قد تكون طريقة تغطية سطح الخرسانة ببركة من الماء, من أقدم طرق المعالجة وأفضلها ويمكن تطبيقها على البلاطات الأفقية وتشمل حجز طبقة من الماء حوالي (50) ملم فوق سطح الخرسانة وذلك بوضع حاجز طيني بسيط على الجوانب.وفي الحالات التي لا توجد فيها أمكانية لتغطية السطح بالماء يمكن استعمال طريقة فعالة وهي تغطية السطح بطبقة من النسيج القطني أو أي مادة مشابهة والمحافظة على رطوبتها الدائمية.ومن الممكن أيضاً المحافظة على رطوبة الخرسانة برشها المستمر بالماء دون تغطيتها ولكن هذا الأسلوب غير فعال بصورة عامة, مع أنها تعطي نتائج أفضل من الطرق الأخرى بقدر تعلق الأمر بنوعية الخرسانة ولكنها غير مناسبة إذ تحتاج إلى إشراف جيد للتأكد من المحافظة على رطوبة الغطاء بصورة دائمية وبذا تكون عالية الكلفة لحاجتها إلى أيدي عاملة أكثر إضافة عدم إمكانية تطبيقها في المناطق التي تكون شحيحة في المياه ولهذه الأسباب تستعمل طرق المعالجة الأخرى .

إن المبدأ الذي تعتمد عليه طرق المعالجة من الصنف الثاني هو إمكانية الحصول على معالجة مقبولة عند منع تبخر الماء الأصلي من الخرسانة.وأي نوع من الغلاف,شريطة أن لا يكون مثقوباً أو ممزقاً,سيمنع تبخر الماء من الخرسانة بصورة فعالة ولكنه بنفس الوقت سوف لن يسمح بدخول الماء من خارج الخرسانة ولكنه بنفس الوقت سوف لن يسمح للتعويض عن الماء المفقود بالجاف الذاتي. وتعد هذه الأغلفة من مركبات مانعة للتسرب والتي قد تكون بلون صافي, ابيض أو اسود علما بان اللون الناتج سيتسبب في امتصاص اقل للحرارة من أشعة الشمس مؤديا إلى ارتفاع اقل في درجة حرارة الخرسانة مقارنة مع اللون الغامق.

إن فترة المعالجة لايمكن تحديدها بسهولة لاعتمادها على عوامل عديدة كدرجة الحرارة,الرطوبة النسبية ونوع الاسمنت المستعمل. ولكن بصورة عامة تحدد فترة (7) أيام كحد أدنى لمعالجة الخرسانة الحاوية على الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي. تحدد المواصفة الأمريكية (ACI 308-81) والمواصفة البريطانية (BS: 8110.Part:1985) مدة المعالجة الاعتيادية لأنواع الاسمنت وظروف تعرض مختلفة.

وتجدر الإشارة هنا بان نوع المنشأ له دور رئيسي في تحديد أسلوب المعالجة وذلك لتعرض سطحها الواسع إلى الظروف الجوية المحيطة.كما وان المنشات التي تكون فيها نسبة المساحة السطحية /الحجم قليلة تكون معالجتها معقدة ولتسهيل المعالجة قد يدهن أو يرطب القالب قبل الصب .

إن ارتفاع درجة حرارة الخرسانة يودي إلى رفع معدل سرعة حصولها على المقاومة وهذا هو المبدأ الذي تعتمد عليها المعالجة المسرعة. ومن الممكن إسراع اكتساب المقاومة باستعمال المعالجة بالبخار . فعندما يكون البخار في الضغط الجوي ,أي عندما تكون درجة الحرارة اقل من (100)ْم تعتبر العملية حالة خاصة من المعالجة الرطبة بينما عملية المعالجة بالبخار تحت ضغط عالي حالة مختلفة تماما.ولقد استعملت عملية المعالجة بالبخار بنجاح للأنواع المختلفة من الاسمنت البورتلاندي ولكنها لا تستعمل للاسمنت الالوميني.
إن الهدف الرئيسي من المعالجة بالبخار هو الحصول على مقاومة مبكرة عالية بدرجة كافية للتمكن من مناولة المنتجات الخرسانية بأقرب فرصة بعد الصب وكذلك لرفع القوالب ولهذه فوئد اقتصادية وخاصة في معامل صناعة الخرسانة مسبقة الصب (Precast Concrete).

يختلف أسلوب المعالجة بالبخار تحت الضغط العالي عن المبين أعلاه بالطريقة والتنفيذ وكذلك في طبيعة الخرسانة المنتجة .وبما أن العملية تنطوي على ضغط أعلى من الضغط الجوي فان غرفة المعالجة لابد أن تكون بهيئة وعاء مسدود ببخار رطب وان الحاجة للماء الزائد ضرورية لمنع التماس المباشر للبخار المسخن بإفراط لسطح الخرسانة . هذا الإناء يعرف بمحمم مرصد (Auto Clave) ولهذا تطلق قسم من البحوث على هذا الأسلوب من المعالجة بالأتوكليف (Auto calving) وعادة تستعمل هذه الطريقة في معامل الخرسانة مسبقة الصب أيضا بهدف الحصول على خواص معينة للخرسانة العادية أو الخفيفة الوزن ,كالمقاومة العالية المبكرة ,المتانة العالية أو لتقليل انكماش الجفاف وتحركات الرطوبة .

ولقد وجد بان الحد الأدنى لدرجة الحرارة المطلوبة هو(177)ْم حيث تقابل ضغط بخار (0.8) نيوتن/ملم^2.إن هذه الطريقة تعطي للخرسانة فوئد عديدة وكذلك عند استعمال الإضافات.ولابد من الإشارة هنا بان هذه الطريقة تكون عالية الكلفة .

صب الخرسانة تحت الماء

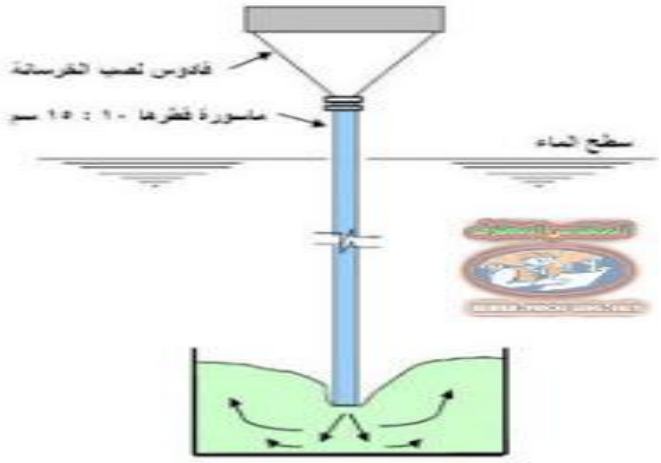
عند صب الخرسانة تحت الماء يعمل الماء على إجتراف او نزع الأسمنت وفصلة عن الخرسانة والركام وينتج عن ذلك نقص في مقاومة الخرسانة و تعكر في المياه المحيطة بها. ولهذا السبب يستخدم نوع من الإضافات تسمى : Ant washout Admixture وتعتبر هذه الإضافة من أحدث أنواع الإضافات الموجودة فى الأسواق حالياً. حيث تعمل هذه الإضافات على تكوين جل او نطاق لزج فى الماء المحيط بحبيبات الأسمنت فتحميه من الإجتراف بفعل الماء كما تعمل على زيادة اللزوجة و التماسك بين جزيئات الخرسانة و تحسن من مقاومة الخرسانة للإنفصال.

طرق صب الخرسانة تحت الماء:

يوجد طرق عديدة لصب الخرسانة تحت الماء ومنها ما يلى : -

1- طريقة القادوس - التريميو | Tremie :

فيها تصب الخرسانة من خلال قادوس او قمع متصل بماسورة قطرها من 10 إلى 15 سم تصل إلى القاع المطلوب صب الخرسانة عليه بحيث يراعى أن حافة الماسورة السفلية تكون غاطسة في الخلطة الخرسانية على أن ترفع الماسورة اثناء الصب بمعدل لايسمح بخروج الخلطة من الماسورة حتى لا تتسرب المياه بداخلها.



شكل يوضح صب الخرسانة باستعمال الانبوب القمعي

2- طريقة ضخ الخرسانة | Concrete Pumping :

وهي تطوير لطريقة القادوس حيث تصب الخرسانة بالضخ عن طريقة مواسير ممدودة إلى قاع مكان الصب, وفيما يلى خطوات تنفيذها بالتفصيل :

أولا: يتم وضع أنبوب معدني تحت الماء عن طريق ضغطها لأسفل.

ثانيا: يتم إدخال الحفار في الأنبوب المعدني وحفر تحت الأنبوب مسافة معينة.

ثالثا: يتم إدخال حديد التسليح داخل الأنبوب ومن ثم يتم ضخ الخرسانة فيه.

3- <u>طريقة الدلو | Bucket :</u>

وهو عبارة عن وعاء على شكل متوازي مستطيلات أو إسطوانة مفتوحة من أعلى ومجهزة من أسفل ببوابة قابلة للفتح والغلق يملئ الدلو بالخرسانة ويغطى سطحة بطبقة من القماش المشمع ثم ينزل برفق في الماء حتى مكان الصب ويفرغ ثم يرفع.

4- طريقة الركام المحقون | Grouted Aggregates :

تعبأ القوالب بالركام الخشن ثم يحقن بالمونة بواسطة أنابيب تمتد إلى قاع القالب حيث تدفع االمونة الماء خارج القالب ويحل محلة مالئاً الفراغات بين حبيبات الركام الخشن.

5- طريقة أكياس الخرسانة | Sacked Concrete :

وفيها يتم وضع خرسانة ذات قوام جاف (مفلفلة) في أكياس (أجولة) من الجوت سعة كل منها 1 متر مكعب تقريباً وتربط الأكياس جيداً ثم ترص في مكان الصب في صفوف مترابطة كما في حالة بناء الحوائط بحيث تكون الأكياس في النهاية كتلة واحده متماسكة متداخلة.

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 فد 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 فى 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 هى:

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 الاعنيادي 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 اكثر 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. واكثر 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) متراً 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 وعلى 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 , 36 متر طولي.

وتتفاوت الأطوال بسبب نهايات الأذرع حيث أنه في نهاية 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 و مضخة 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.

المضخات 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 صبا ال RAFT FOUNDATION لها مساحة كبيرة نلجأ لاستخدام 3 مضخات او اكثر لتمام عملية الصب كل من هذه المضخات في جهة 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" تغطية 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 وسهولة حتى 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 جداً 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 و تقليل جهاز الإشراف وتقليل كمية الاسمنت المستعمل وذلك لان السيطرة النوعية أفضل وذلك يقلل الهدر أو الضياع في هذه المادة.

أساليب 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 و يجب إيضاح أن الرج يختلف عن الخط بسرعة دوران الخلاط حيث تتراوح بين2الى 6 دوراه في الدقيقة مقارنة بسرعة الخط التي تتراوح بين 4 الى 16 دورة في الدقيقة و تعتمد المواصفات البريطانية (BS 5328:1981) الرقم 7دورات في الدقيقة حداً أدنى لسرعة الخط هذا و يجب 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 و تعطي المواصفة البريطانية (BS 5328:1981) شرحاً مفصلاً عن طريق خلط الخرسانة ومن ضمنها الخرسانة الجاهزة.

المصادر:-

1- اي . ام .نيفيل، خواص الخرسانة، ترجمة حقي اسماعيل، مؤسسة المعاهد الفنية، 1985
2- د.مؤيد نوري خلف، تكنولوجيا الخرسانة،الجامعة التكنولوجية ، مركز التعريب للنشر ،1985
3- جلال بشير سرسم ، تكنولوجيا الخرسانة ،مؤسسة المعاهد الفنية ، الطبعةالاولى، 1985
4- الكيمياوي محمد اسماعيل عمر ، السمنت صناعته وخصائصه، دارالكتب العلمية ، القاهرة 2004

5 - M.L. Gambhir, Concrete Technology, Third Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, 2004

6- M.Chaels Mamlouk and John P. Zanhewski, Materials For Civil and Construction Eng. ,Second Edition, Pearson Prentice Hall,2006

7- M.S.Shety , Concrete Technology, S. Chand and Company LTD,1989 Ram Nagar ,New Delhi ,India

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

الجامعة التقنية الجنوبية

المعهد التقني التكنلوجي – البصرة

قسم التقنيات المدنية

الحقيبة التعليمية

في

تقنيات الخرسانة

لطلبة المرحلة الثانية

الدكتور
حيدر الديوان

الفصل 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 :

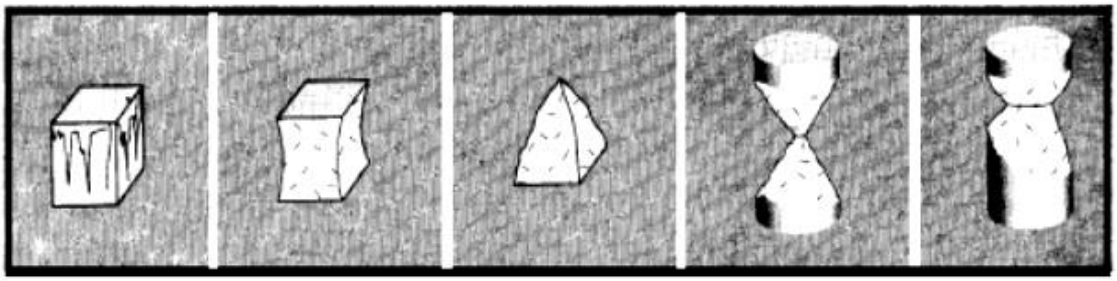
1- مقاومة الانضغاط (Compression Strength).
2- مقاومة الشد (Tensile Strength):
أ- مقاومة الانحناء (Bending Strength)
ب - مقاومة الانشطار (Splitting Strength)
3- مقاومة القص (Shear Strength)
4- مقاومة الكلل (Fatigue Strength)

1- مقاومة الانضغاط: (Comression Strength)

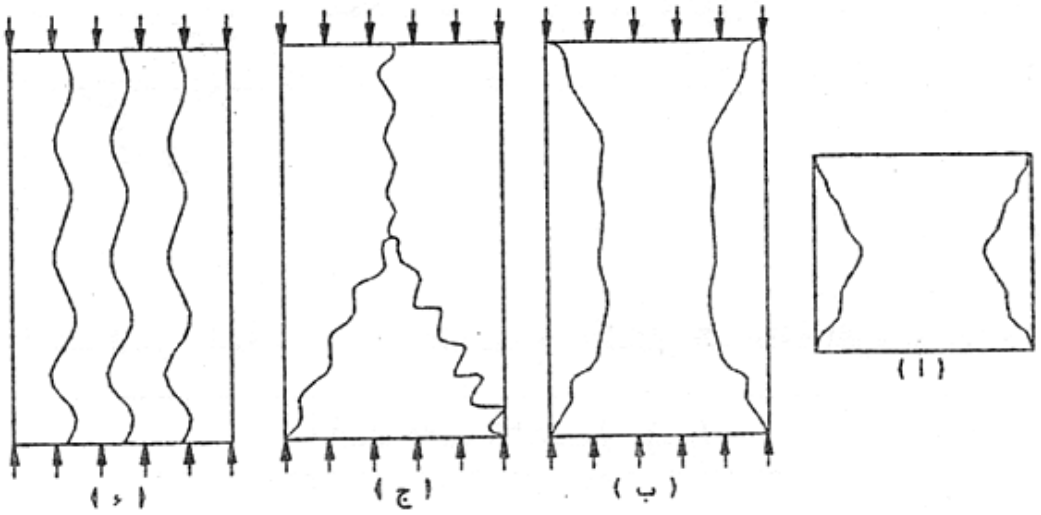
معظم المنشأت الخرسانية مصممة على اعتبار ان الخرسانة تقاوم اجهادت الانضغاط فقط لاتقاوم اجهادات الشد (عدا في حالات نادرة كالخرسانة المستعملة في انشاء الطرق) لذا ولاغراض التصميم الانشائي فان مقاومة الانضغاط هي المعيار في تحديد نوعية الخرسانة وان الاجهادات التشغيلية محددة في المواصفات العالمية كنسبة مئوية 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:

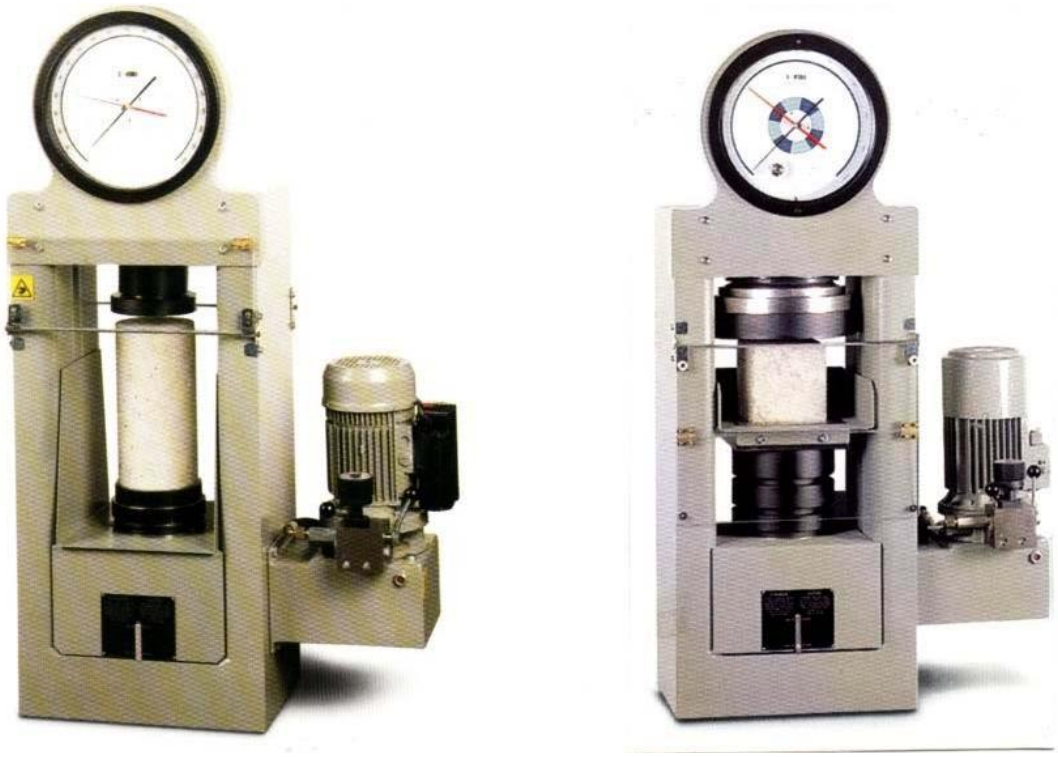
f_c = مقاومة الانضغاط للخرسانة.

p = أقصى حمل إجمالي.

A = مساحة مقطع النموذج قبل الفحص.

إن وحدات قياس مقاومة الانضغاط للخرسانة هي إما kg/cm^2 أوN/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).

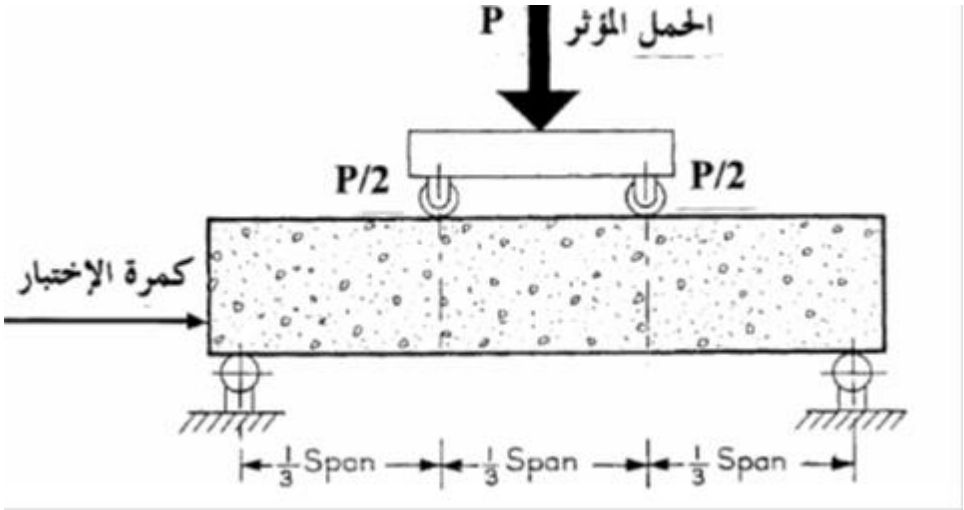
ثانيا- مقاومة الشد:

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.

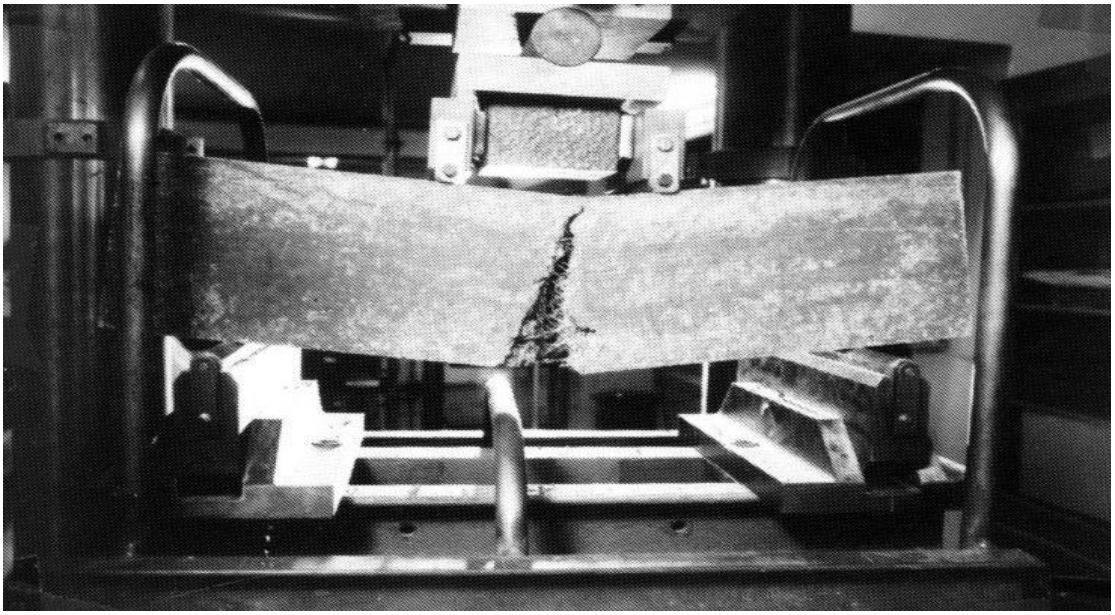
1- فحص الانحناء:

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.**

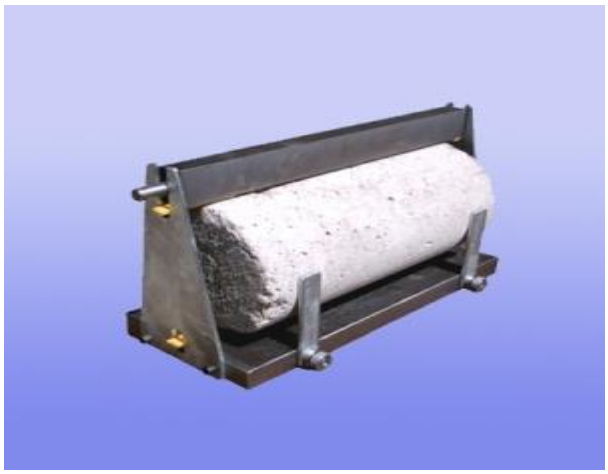
إذا حدث الكسر في موقع خارج الثلث الوسطي يجب إهمال نتائج هذا الفحص حسب المواصفات البريطانية. أما المواصفة الأمريكية تسمح لان يحدث هذا الفشل خارج نقاط التحميل وعلى مسافة قدرها (a) من أقرب مسند وعندئذ يكون معامل التصدع (مقاومة الشد بالانحناء) وفق المعادلة التالية: -

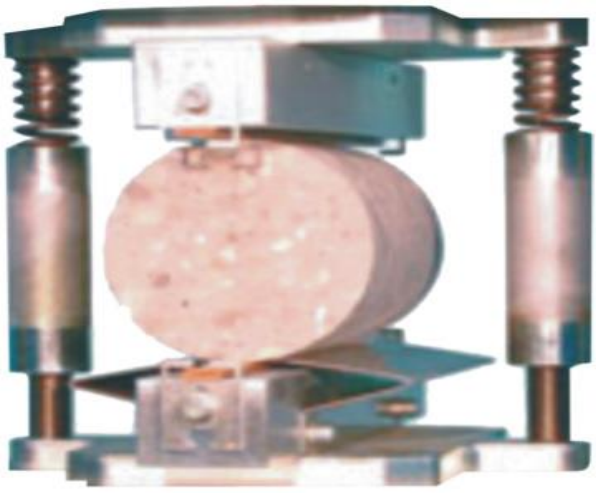
$$f_{bt} = \frac{3Pa}{bd^2}$$

هذا وإذا حدث الفشل عند المقطع بحيث (l /3 - a > 0.05 l) 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- مقاومة الشد بالانحناء = تهمل النتائج

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 انتشاراً 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:

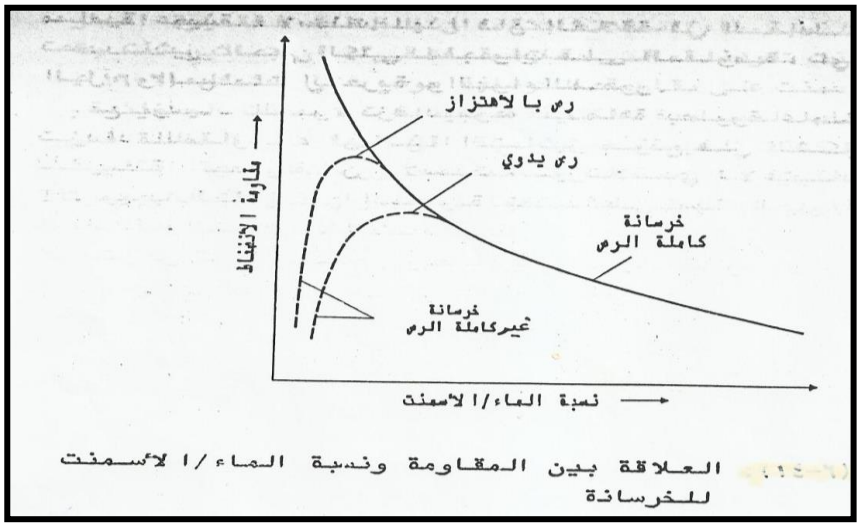
1- الخلط المركزي.
2- الخلط إثناء النقل أو الخلاطات الناقلة.
3- الخلط الجزئي.

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:

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

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

ملاحظة: 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

الحد 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

5- احتساب محتوى الاسمنت:

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

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

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

ملاحظة 2:
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 .

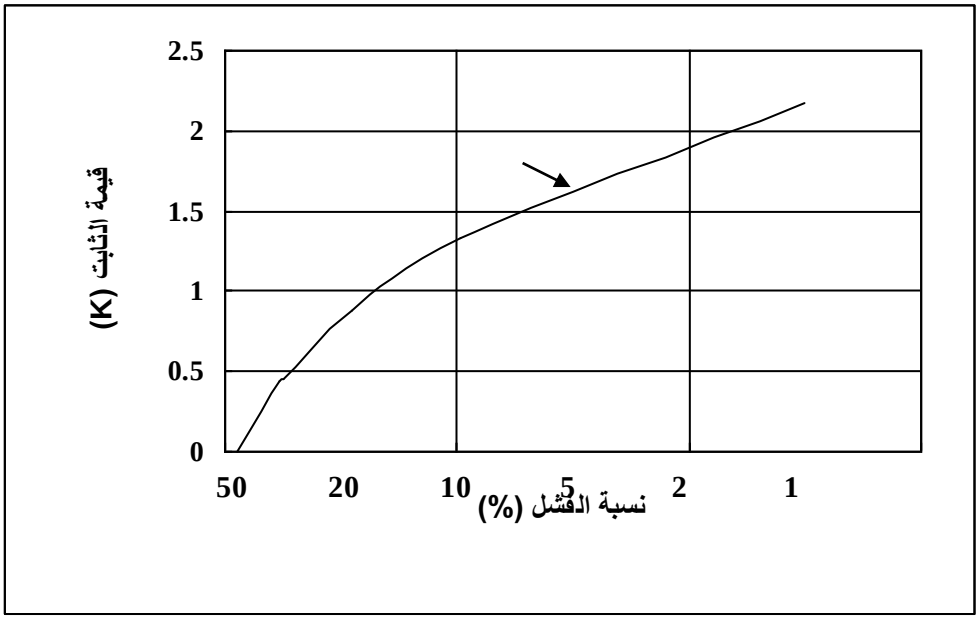
من الممكن احتساب معدل القيمة المستهدفة للمقاومة من المعادلة التالية:

$$f_m = f_c + M$$

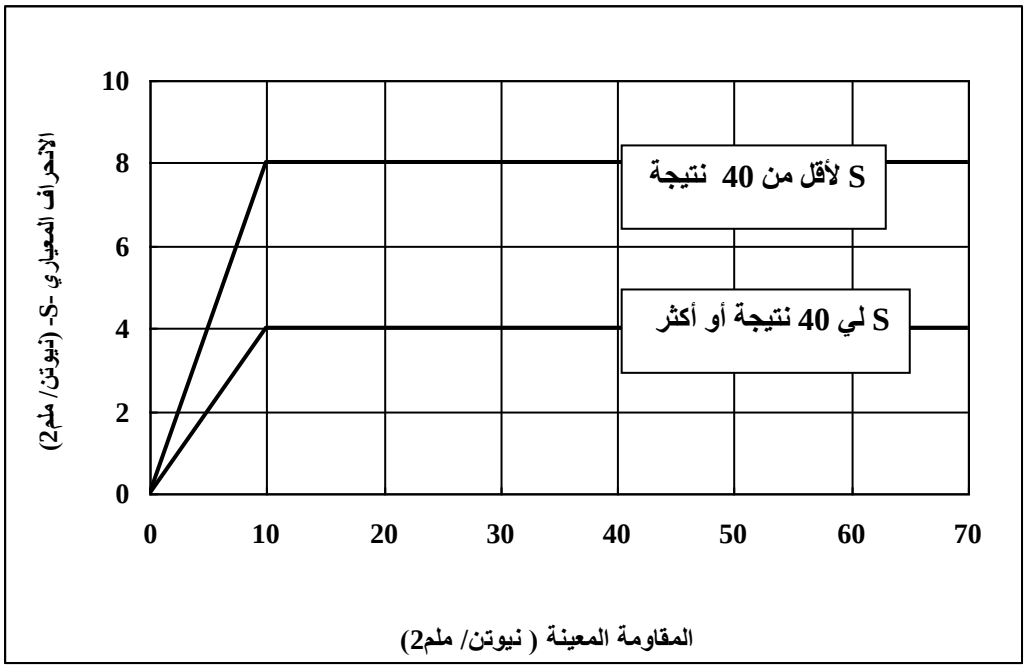
حيث إن:
f_m = معدل القيمة المستهدفة للمقاومة (نيوتن/ملم^2)
f_c = المقاومة المعينة و الموصوفة (نيوتن/ملم^2)
M = المجال

$$M = K * S$$

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.

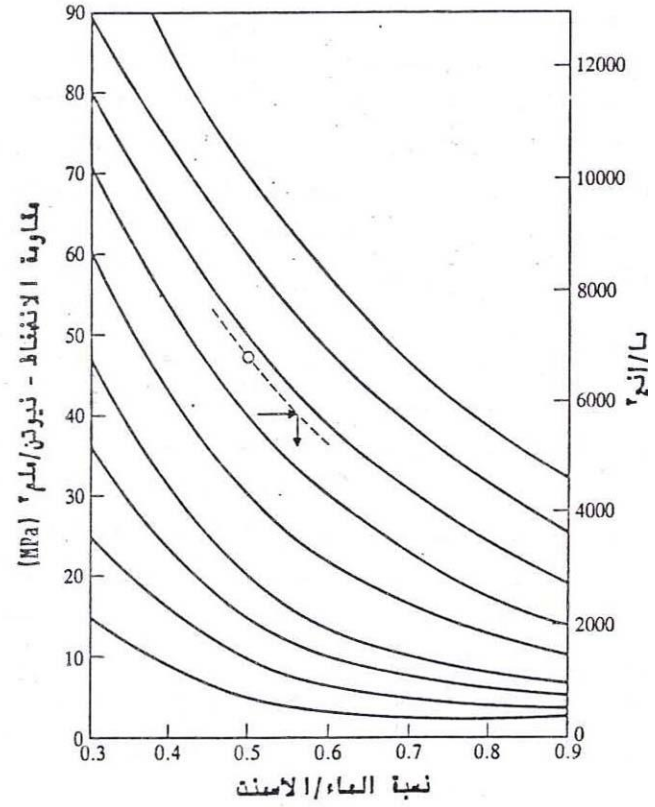
جدول (1) : مقاومة الانضغاط التقريبية لخلطات خرسانية ذات نسبة ماء طليق/اسمنت مقداره 0.5 وفقا إلى الطريقة البريطانية 1986.

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:

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

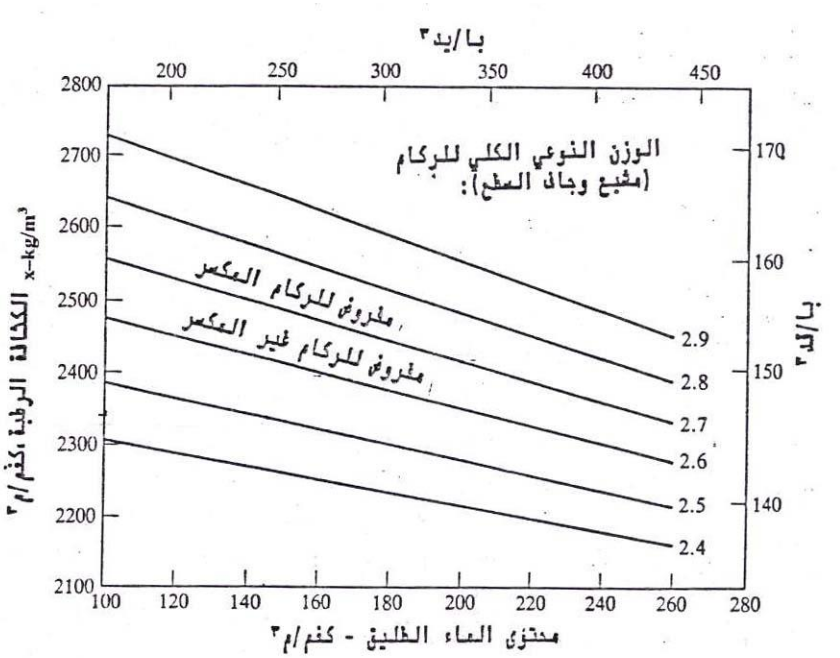
ملاحظة:

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

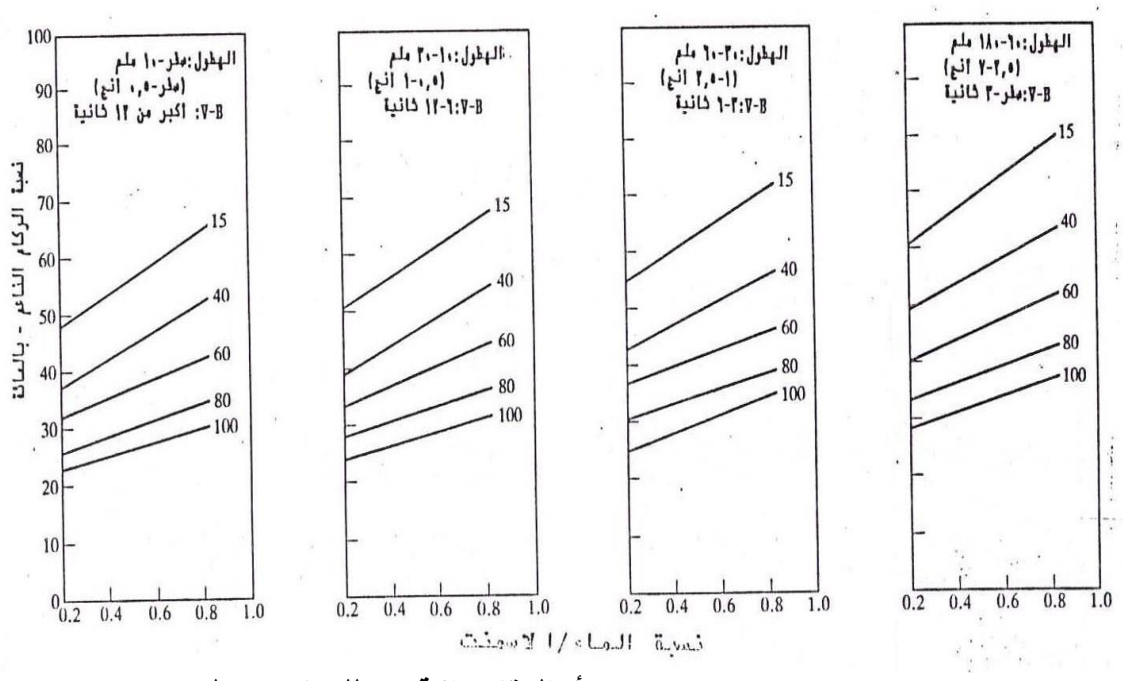
5- تقدير محتوى الركام الناعم والخشن:

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: -

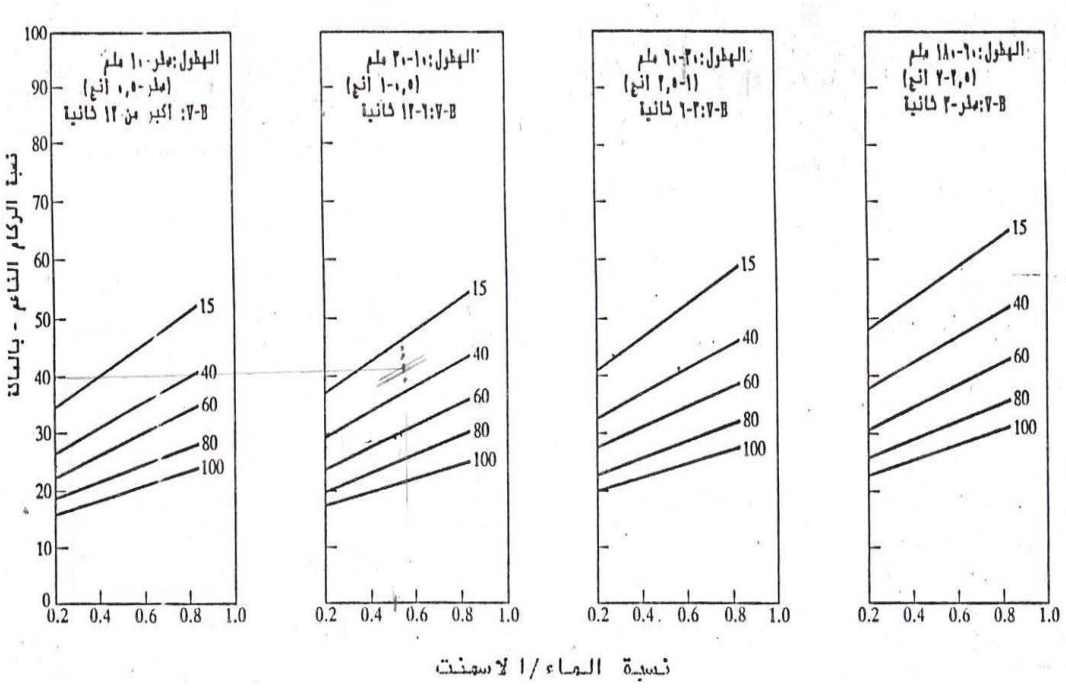
وزن الركام الناعم (مشبع وجاف السطح) = نسبة الركام الناعم * محتوى الركام الكلي
(kg/m^3)

إذن:

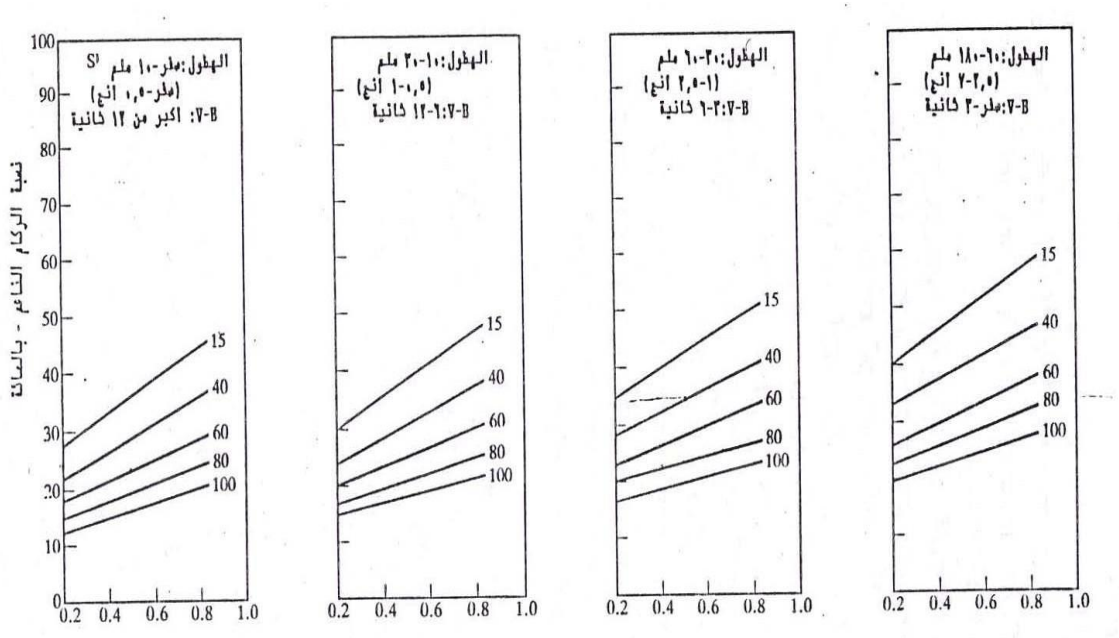
وزن الركام الخشن (مشبع وجاف السطح) = محتوى الركام الكلي - وزن الركام الناعم
(kg/m^3)



(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/م٣

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

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

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

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

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

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

إذن وزن الماء الجديد = 200 + 8.25 + 4.65 = 212.9 كغم/م٣

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 ومسسببا 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, 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):

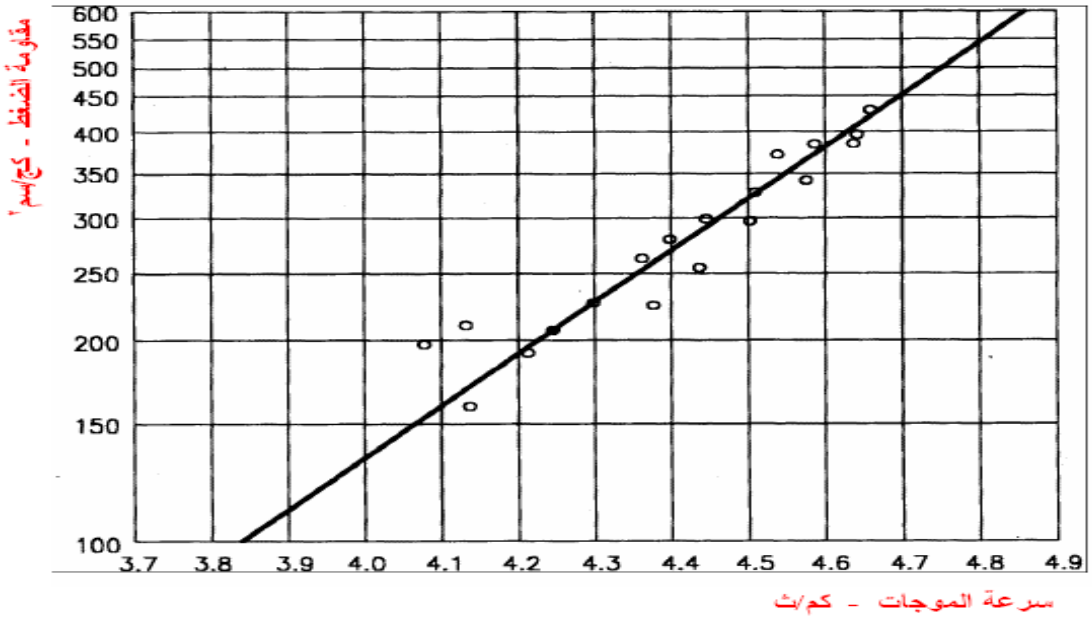
يولد الجهاز المعني نبضات اهتزازية بتردد فوق السمعي تنتقل بمحول طاقة كهربائي صوتي مثبت على سطح الخرسانة المراد فحصها. بعد ان تمر الهزات في الخرسانة تستلم وتحول الى شارة كهربائية بمعدل اخر للطاقة تغذي هذه الاشارة من خلال مضخم لها الى مكثاف تذبذبات يعمل بالاشعة الكاثودية، شكل رقم (1). اما الوقت اللازم للنبضة 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:

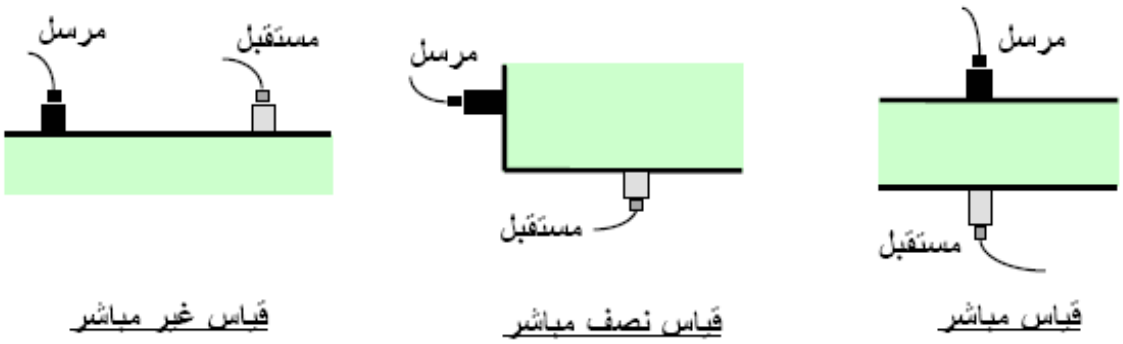
L = Length (Km) طول المسار المقاس
T = Transit Time (sec) زمن الانتقال الموجة

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

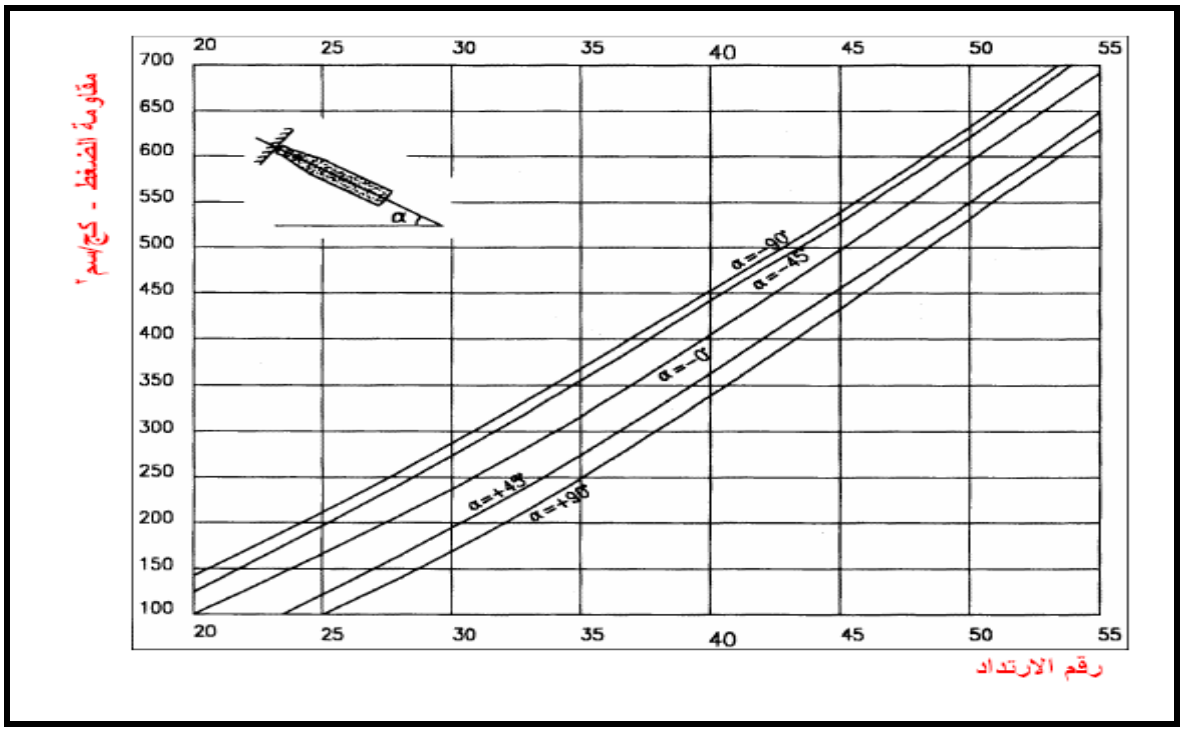
طريقة عمل الجهاز:

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%.



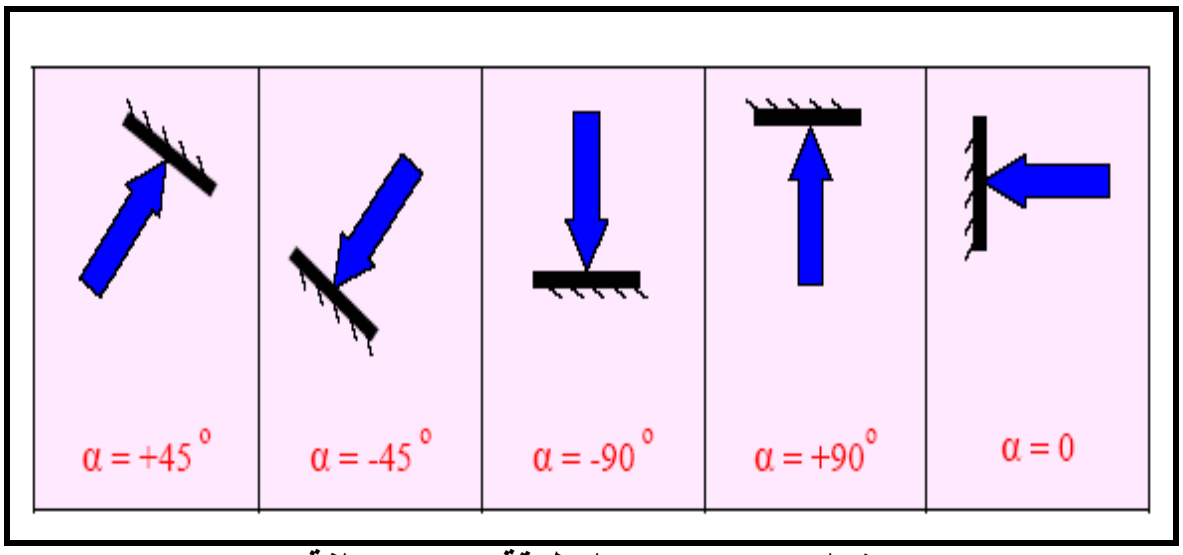
شكل (5): العلاقة بين مقاومة الانضغاط ورقم الارتداد (R)

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 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 = (كيكا باسكال -GPa) معامل المرونة الديناميكي للخرسانة

n = التردد (هرتز)

L = طول النموذج (ملم)

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

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 المنالة، 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 الخفيفة 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 1400-1800نيوتن /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 $180 kg/m^3$ 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 أللين .

أ- انواع الالياف نسبة الى مادتها :-

1- الالياف الفولاذية.
2- الالياف الزجاجية.
3- ألياف الكربون.
4- ألياف النايلون.
5- الياف البولي بروبولين.
6-الياف الاسبست.
7- ألالياف النباتية.

ب- انواع الالياف نسبة الى شكلها :-

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

جـ معاير مرونة أللين :-

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 باليا ف 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 اليا ف.

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,٢
2- مقاومة شد تصل لـ 10 نيوتن/ملم٢.
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.

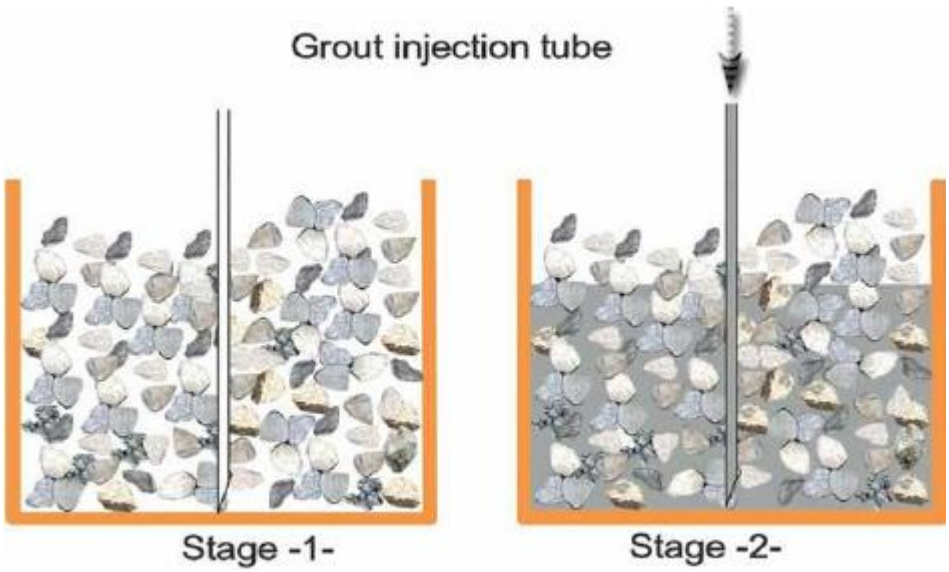
7-ألياف الحديد:
والهدف من اضافتها هو تحسين المطيلية ومقاومة القصافة ونسبتها (2.5%-10%) من حجم الخرسانة. اضافة الى ذلك فأن خرسانة المساحيق الفعالة تحتاج الى معالجة حرارية بالبخار للتحكم وتحسين عملية تكوين الجل وضغط اولي قبل المعالجة لزيادة رص الحبيبات.

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.**