وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية
المعهد التقني العمارة
قسم التقنيات المدنية

الحقيبة التدريسية لمادة

مواد الخرسانة

المرحلة الاولى

تدريسي المادة
م.م خلف جمعه خلف

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
الجامعة التقنية الجنوبية
المعهد التقني في البصرة القسم : التقنيات المدنية الفرع: بناء وانشاءات

المرحلة: الأولى

مواد الخرسانة Concrete Materials	الساعات الأسبوعية		
	ن	ع	م
	١	٢	٣

اهداف المادة :تعريف الطالب بالمواد المكونة للخرسانة واتقانه لخواص هذه المواد الفيزياوية والميكانيكية والكيمياوية وتأثيرها على الخرسانة .ويشمل الجزء العملي الفحوصات اللازمة لهذه المواد .

الاسبوع	تفاصيل المفردات النظرية
الأول والثاني	مباديء عامة عن الخرسانة (تعريفها ، تركيبها ، المصطلحات الخاصة بها ، خواصها) .
الثالث والرابع والخامس	السمنت البورتلاندي ، صناعته ،تركيبه الكيمياوي ، انواعه .
السادس	الأنواع الأخرى للسمنت (السمنت الطبيعي ، السمنت التمددي expanding cement،السمنت الألومينيaluminous cement) ومواصفات كل نوع .
السابع والثامن	خواص السمنت : النعومة ، فقدان الوزن بالأحتراق ، ثبات السمنت ، حرارة الأماهه .
التاسع والعاشر	تكملة خواص السمنت : وقت التماسك الأبتدائي والنهائي ، قوة التحمل الأنضغاطية ، مقاومة الشد .
الحادي عشر	الركام : تصنيف الركام ، طرق اخذ النماذج ، شكل الجسيمات ، الملمس السطحي للجسيمات ، قوة تحمل الركام .
الثاني عشر والثالث عشر والرابع عشر والخامس عشر	الصفات الميكانيكية للركام : (الوزن النوعي ، وحدة الوزن المرصوصة وغير المرصوصة ، التدرج ، المسامية ، قابلية الأمتصاص) .

الفصل الثاني	
السادس عشر	الصفات الميكانيكية للركام : (التآكل ـ السحج ، تضخم الرمل).
السابع عشر والثامن عشر	نسبة الأملاح والمواد العضوية والمواد الطينية بالركام خاصة الرمل ، التفاعل مع المواد القلوية .
التاسع عشر والعشرون	الركام الخفيف والثقيل : انواع الركام الخفيف light weight agg.(الطبيعي والصناعي) ، ميزات الركام الخفيف وسلبياته مقارنة بالركام العادي .
الحادي والعشرون والثاني والعشرون	مواصفات الركام الخفيف المستعمل في الخرسانة الأنشائية ، مواصفات الركام الخفيف المستعمل في الخرسانة العازلة ومواصفات الركام الخفيف المستعمل في انتاج الكتل الخرسانية .
الثالث والعشرون	استعمالات السليكا silicaوبخار السليكا silica fumeوالرماد المتطاير fly ash في انتاج الخرسانة من حيث المواصفات والتأثيرات .
الرابع والعشرون	الماء المستعمل في انتاج الخرسانة : ماء الخلط ، ماء الأنضاج ، ومواصفات كل نوع .
الخامس والعشرون	الألياف المستعملة في الخرسانة fibers(الأنواع ، المواصفات) .
السادس والعشرون والسابع والعشرون	المواد المضافة للخرسانة admixtures:الأنواع واسباب استعمال كل نوع (المضافات المقللة لماء الخلط ، المضافات المؤخرة ، المضافات المعجلة ، مضافات تحسين التشغيلية ، المضافات المنقحة ، مضافات مقاومة التجمد .
الثامن والعشرون والتاسع والعشرون	التركيب الكيمياوي للمواد المضافة ، تجانس المادة ، فحص الوزن النوعي للمواد المضافة ، فحص الرواسب المتبقية بالتجفيف للمضافات السائلة ، وفحص الرواسب المتبقية بالتجفيف للمضافات الصلبة ، والمواصفات الخاصة بذلك .
الثلاثون	المتطلبات الفيزياوية للمضافات الخرسانية حسب المواصفات القياسية (المقدار المسموح به لتأخير وقت التماسك للمواد المؤخرة والوقت المسموح به للتعجيل للمواد المعجلة .....).

اهداف المادة :تعريف الطالب بالمواد المكونة للخرسانة واتقانه لخواص هذه المواد الفيزياوية والميكانيكية والكيمياوية وتأثيرها على الخرسانة .ويشمل الجزء العملي الفحوصات اللازمة لهذه المواد .

الفئة المستهدفة

قسم التقنيات المدنية / طلبة الصف الاول

التقنيات / التربوية المستخدمة:

١- شاشة تفاعلية

٢- عارضة البيانات (Data show)

٣- جهاز حاسوب Laptop

٤- سبورة واقلام

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).

(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.

أ سباب استعمال

1- مواد رخيصة الثمن.
2- مواد اولية متوفرة.
3- تكون قلب الخرسانة وتشغل حوالى 75% من جسم الخرسانة.
4- تقاوم المتغيرات(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 عاليـة 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):**

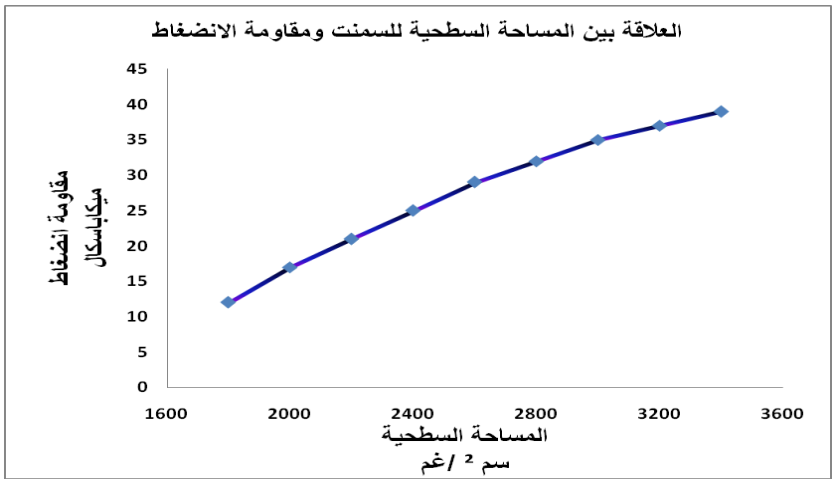
تعتبر المساحة السطحية للسمنت من اهم خواصها الفيزياوية حيث تحدد مدى نعومته وبقدر مايكون السمنت مطحوناً بقدر ماتكون المساحة السطحية اكبر .
ويتم في هذه الطريقة ايجاد المساحة السطحية لحبيبات السمنت بـ (سم²/غم) من السمنت وهناك ثلاث طرق رئيسية لذلك وهي :-

- **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

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

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

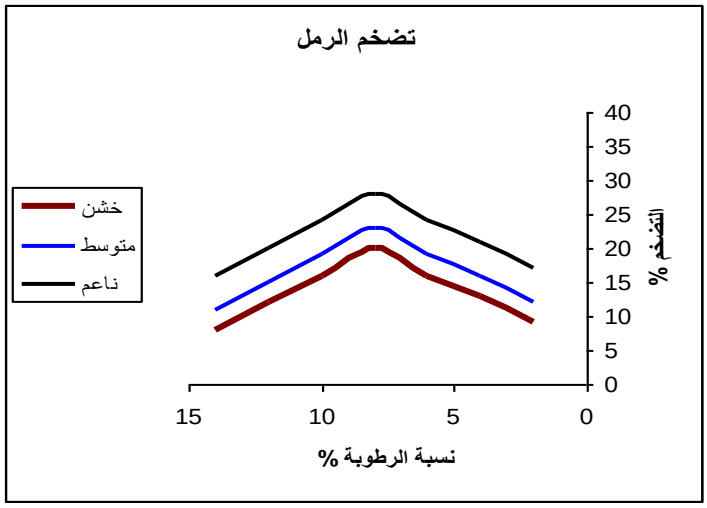
ب - نسبة التآكل = 24 % وهي اقل من 30 % لذا فأن الركام يصلح لأعمال خرسانة الطرق.

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

<u>كيفية قياس تضخم الرمل</u> :-

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).

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

<u>مثال</u> :-

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

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

$$\text{Bulking (التضخم)} = \%\ 25$$

<u>مثال</u> :-

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:-

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

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 =$\sum$ = 3250gm $\sum$ = 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 :-

1- معامل النعومة = $\dfrac{\text{مجموع النسب المئوية المتبقية المتجمعة}}{100}$

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

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 %) .**

رابعاْ : 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 / م^3 .

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.

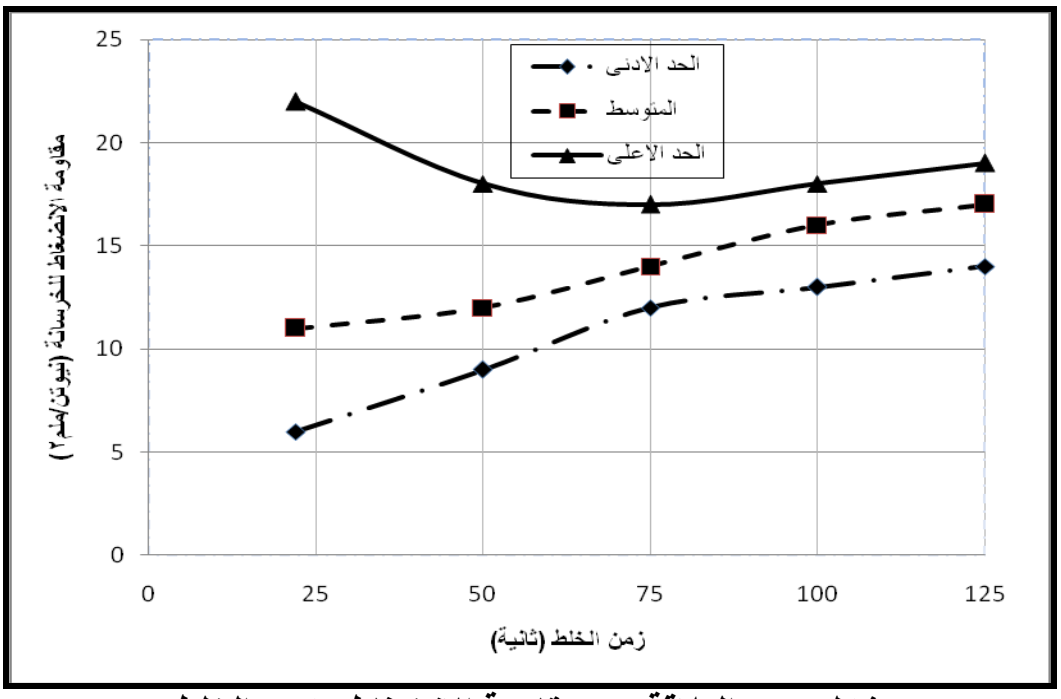
ان كل الخلاطات المذكورة هي خلاطات وجبة (Batch Mixer) أي من النوع التي تملأ بالمواد, تخلط ثم تفرغ تماما قبل اعادة ملئها, وهذه تختلف عن الخلاطات المستمرة (Continuous Mixers) التفريغ أي الخلاطات التي تغذى بالمواد الاولية وتفرغ المواد المخلوطة بتدفق مستمر.

مقاس الخلاطة (Size of Mixer):

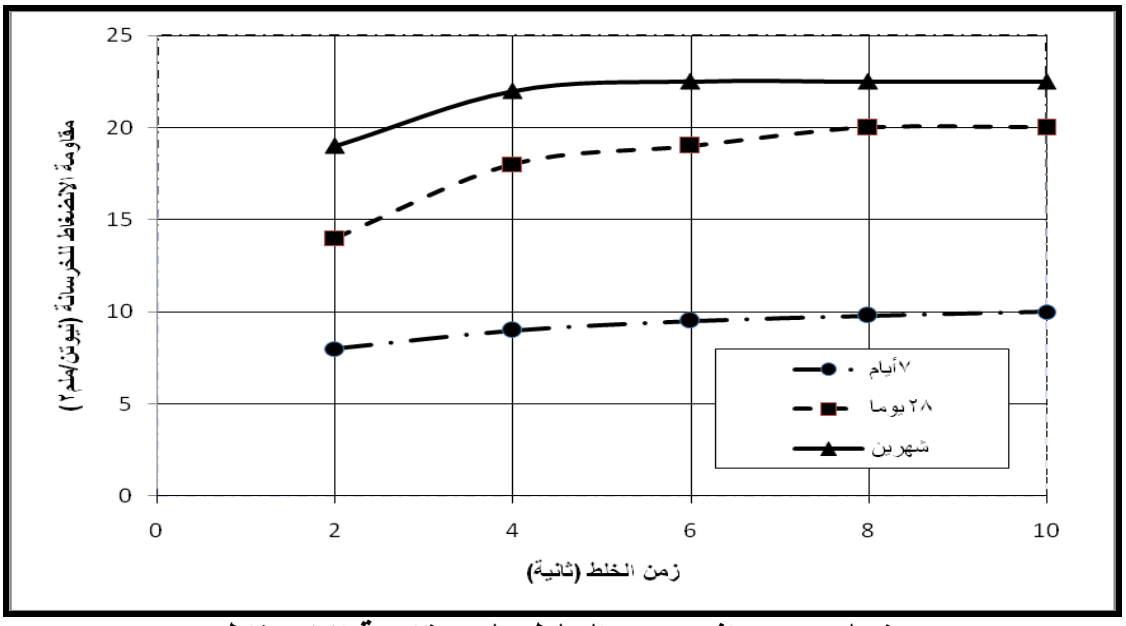
يعبر عن مقاس الخلاطة بحجمها وغالبا يستعمل رقمين: يشير الاول الى حجم المكونات الغير المخلوطة, بصورة سائبة, والثاني يعبر عن حجم الخرسانة عند خلطها, على سبيل المثال, 10/7 , 14/8, 22/14 ...الخ وهذه القيم هي بالقدم المكعب. وفي الوقت الحاضر يستند المقاس الاسمي للخلاطة على حجم الخرسانة بعد عملية الرص, كما مبين 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 (1-4/1 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 (1-2/1 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)

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>-

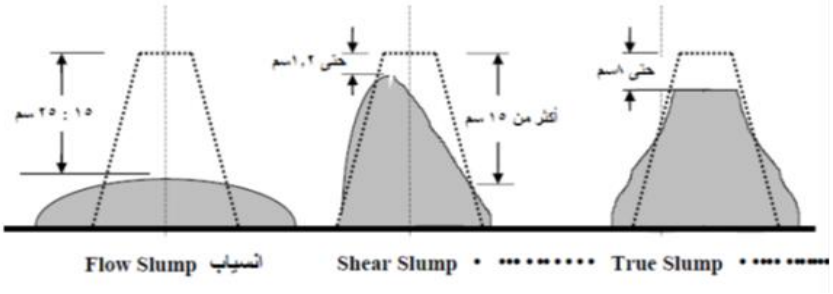
أ- <u>الهطول الحقيقي</u>: (True Slump)
هو هطول الخرسانة بصورة متساوية من جميع الجهات.

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 1 ½ 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 1 ½ 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

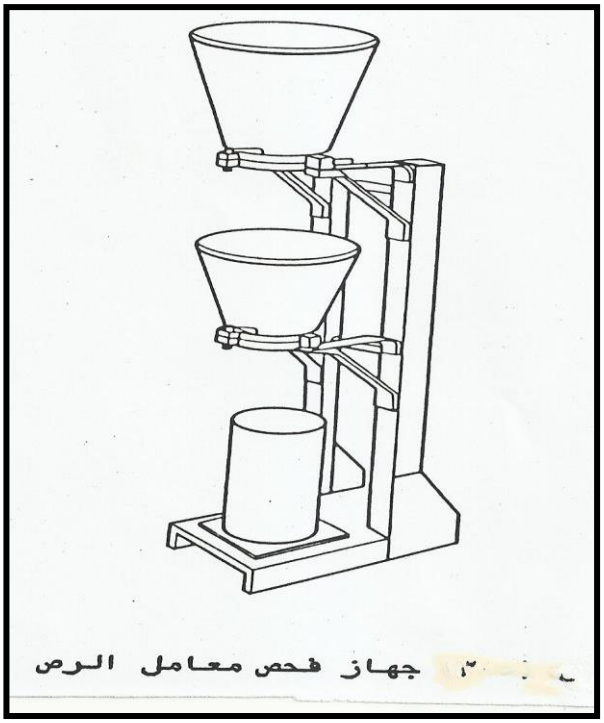
2- **فحص عامل الرص: (Compacting Factor Test)**

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

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.

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 .

الخرسانة المتضمنة على الالياف

وهى الخرسانة المصنوعة من الأسمنت والركام و المحتوية على ألياف غير مستمرة و موزعة توزيعاً عشوائياً فى جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية. ولتحسين قابلية تشغيل الخلطة لهذهِ الخرسانة تُضاف مواد كيميائية تُدعى بالملدنات (Superplasticizers) . إكتسبت الخرسانة الليفية إنتشار واسعاً في إنشاء السقوف ، رصف الطرق ، أُسس المكائن ،الأبنية ضد الزلازل ، الخرسانة مسبقة الصب وخرسانة الرش ....ألخ.
ان السبب الرئيسي لإضافة الألياف الى الخرسانة هو لزيادة المتانة (Toughness) ،مقاومة الشد تحسين خاصية التشقق للمزيج الناتج . ولكي تكون الخرسانة الليفية مادة ناجحة يجب أن تُحقق متطلبات الإقتصادية والكفاءة بالوقت ذاته .تُصنع الألياف من الفولاذ ،البلاستك ،الزجاج ،أو ألياف طبيعية وتتوفر بأشكال وأحجام وأقطار ومقاطع مختلفة تتراوح أطوالها بين(٦ – ١٥٠ ملم) ٠.٢٥ – ٦ إنج ، وبسمك يتراوح بين (٠.٠٠٥ – ٠.٧٥ ملم) ٠.٠٠٠٢ – ٠.٣ إنج وتُضاف للخرسانة أثناء الخلط ..

مميزات وسلبيات الخرسانة المسلحة بالالياف:

<u>المميزات</u>:
١-تحسين تماسك الخلطة، وتحسين قابلية الضخ لمسافات طويلة
٢-تحسين المقاومة ضد دورات الانجماد-الذوبان للخرسانة
٣-تحسين مقاومة التشظي بسبب انفجار وفي حالة نشوب الحريق
٤-تحسين مقاومة الصدم والشد والقص.
٥-زيادة المقاومة للانكماش اللدن اثناء انضاج الخرسانة.وبالتالي يقلل من التشقق اللدن والتقليل من ظاهرة الزحف في الخرسانة
٦-تحسين الاداء الانشائي بصورة عامة.بأن يقلل من الفراغات الهوائية والمائية في الخلطة.
٧-التقليل من الحاجة الى حديد التسليح المستخدم للسيطرة على حدوث التشققات وتقليل الحاجة الى العمالة المطلوبة كنتيجة لذلك.
٩- تحسين المطيلية للخرسانة
١٠- يمنع تشكيل الشقوق الصغيرة والتقليل من عرضها ، وبالتالي تحسين ديمومة الخرسانة بصورة افضل وتقليل النفاذية.ويحسن من اداء الخرسانة
١١-حماية الخرسانة من تكسير الحافات.
١٢-تحد من الاهتراء والتفتت.
١٣-التقليل من مشكلة الصدأ والتآكل (عدا المسلحة بالالياف المعدنية)التي تحدث في الخرسانة المسلحة بالحديد مما يمكن من تقليل سمك الغطاء الخرساني.

<u>المساوىء لأستخدام الألياف</u>
١- هي ان عملية اضافتها يجب ان تتم بصورة آلية مما يرفع كلفة انتاج الخرسانة الليفية.
٢- كما انه يجب تقليل نسبة الركام الخشن نسبيا للحصول على خرسانة ليفية بنوعية جيدة.
٣- استخدام الالياف يقلل من قابلية التشغيل للخرسانة مما يستدعي استخدام المضافات الملدنة (كلفة

اضافية).
٤- التكلفة الزائدة للمواد متمثلا بسعر الالياف المضافة الى الخلطة.
٥- بصورة عامة،فأن اضافة الالياف لا يمكنه التعويض عن الحديد المستخدم لمقاومة الانثناء.

أنواع الألياف المستخدمة مع الخرسانة الليفية:

١- ألياف الأسبستوس

الأسبستوس هو مزيج من عدة انواع من السيليكا الطبيعية وقد شاع استخدامه في أواخر القرن التاسع عشر ، تتميز أليافه بمقاومة عالية للحرارة والكهربائية والتاثيرات الكيميائية والحريق ولكنها ذات قوة شد متوسطة وامتصاصه عالي للماء. حيث كانت تستخدم في الأصل في عزل الابنية والعزل الكهربائي.استخدم لأول مرة مع الكونكريت قرابة ١٩٠٠م . ولكن في وقت لاحق اكتشف أن الأسبستوس مسرطن في الطبيعة، وبالتالي اصبحت منتجاته محظورة تماما.

٢- ألياف الكربون:

استخدم لأول مرة عام ١٩٨٦ في الحوائط الخارجية لبناية في طوكيو. ان ألياف الكربون تحسن المرونة وتجعل خاصية تحمل الشد جيدة .

٣-الياف الأراميد

هو نوع من الألياف الاصطناعية. تم اكتشاف هذا لأول مرة من قبل دوبونت كبديل ممتاز للأسبستوس. وتصنع هذه الألياف من المركبات العضوية التي تدعى البوليميدات العطرية. وتعرف هذه الألياف تجاريا باسماء عديدة مثل تكنورا، نومكس و كيفلار.
تمتاز ألياف الاراميد بكونها لينة، مقاومة للضوء، وقوة ومرونة عالية واستقراية بعدية جيدة وتتمتع بمقاومة ممتازة للحرارة (قابلية الاشتعال منخفضة) والقطع والتاثيرات الكيميائية وانها ذات توصيل كهربائي ضعيف ومقاومةعالية للتآكل. وقوة الشد أكثرخمسة اضعاف قوة أسلاك الفولاذ وذات قوة عالية (خصائص قوة إلى الوزن ممتازة) ولكن كثافتها ٥/١ من أسلاك الفولاذ. وتستخدم الياف الأراميد المفرومة باعتبارها مادة أساسية هامة في مجالات اخرى علاوة عن الخرسانة مثل الصناعة الإلكترونية والكيميائية، والتطبيق العسكري، ومجال الفضاء الجوي.

٤- ألياف لحديد Steel Fibers

بدأ استخدامها لأنتاج الخرسانة الليفية منذ الستينات من القرن المنصرم . يتم تصنيعها عن طريق تسخين المعدن حتى ثم ترسيبه تحت ضغط مرتفع جدا وتكون اما بصيغة ألياف حديد الكاربون أو الحديد المقاوم للصدأ (والذي يُستعمل في المنشآت التي تتطلب إستخدام الياف حديد مقاومة للتآكل Corrosion Resistance).
هناك عدة اشكال من الالياف المعدنية علاوة على المستقيمة مثل المتموجة والمعقوفة النهايتين وغيرها. تمتاز بمقاومة شد عالية في مدى يتراوح بين ٢٠٠-٢٦٠٠ ميكاباسكال ، ولتحسين الترابط من المفضل ان تكون الألياف ذات نسبة طول/قطر (Aspect Ratio) عالية(اكبر من ١٠٠) .ان تشابك الالياف مع بعضها يُقلل من التشغيلية ويؤدي الى حدوث ظاهرة التكور ومن المحتمل أن تؤثر سلبا على الخصائص الميكانيكية للخرسانة الليفية المتصلبة لذا يجب ان لا تزيد نسبتها في

الخلطة عن حد اقصى(عادة لا يزيد عن ٥% وزنا) ويفضل استخدام بعض الملدنات للتغلب على المشكلة المذكورة. تتأثر الالياف المعدنية بالمحاليل الكميائية والصدأ بصورة خاصة وكذلك بالكهربائية والمجالات المغناطيسية .كما ان الاطراف السائبة لها في سطح الخرسانة المتصلبة قد تسبب بعض الاضرار لأطارات المركبات وللاشخاص عند الحركة عليها.

٥-الياف البولي بروبيلين، البولي إيثيلين، النايلون

وهي من ضمن منتجات الصناعات البتروكيميائية والنسيجية. يمكن أن تنتج البروبيلين على شكل حزمة من الألياف الشعرية (Monofilaments) ، أو بأقطار أكبر (Fibrillated) كما ويُمكن وضعها بشكل منتشر (Dispersed) أو على شكل حصيرة (Mat) . تمتاز ألياف البولي بروبيلين بمقاومة القلويات (Alkali Resistance) ومن مساوئها هي الترابط الضعيف مع المادة الرابطة (Matrix) وحساسيتها لضوء الشمس والأوكسجين وهذا يتطلب معاملة خاصة وحفظها في أكياس خاصة .ذات مقاومة عالية للقلويات والمقاومة للحوامض ولها مقاومة عالية جدا للشد ولكنها ذات معامل المرونة منخفض مما يقلل من خاصية عملها كتسليح وهي تستخدم على نطاق واسع في الجدران غير الحاملة ، الواح التكسية يمتاز بسهولة الانهاء السطحي وأسهل بالتشطيب مقارنة مع المعدنية منها من المواد غير المغناطيسية ولا تتأثر بالصدأ او القلويات ولا بمضافات الخرسانة وسهلة الاستخدام و منخفضة التكلفة.

٦-الالياف الزجاجية:

ظهرت لأول مرة في روسيا في الاربعينات من القرن الماضي لكنها لم تستخدم على نطاق واسع الا بعد السبعينات منه.تمتاز الالياف الزجاجية بكونها منتجات خفيفة الوزن ومقاومة التآكل والتعفن والاحتراق وتمتلك مرونة عالية في التصميم والتصنيع، والكلفة المنخفضة مقابل الياف الكاربون علاوة على انها من المواد الصديقة للبيئة فهي لا تسبب اضرار صحية وبيئية. لكنها تتأثر بالاوساط القاعدية بدرجة معينة لذا يجب اخذ ذلك بالاعتبار عند استخدامها في الخرسانة.

٧-الالياف الطبيعية(Natural Fibers):

ومن امثلتها هي شعر الخيل، الياف السيليلوز و ثمرة جوز الهند، الخيزران، الجوت وبعض انواع الاعشاب .تعتبر اقل تأثرا بالتفاعلات الكيميائية من الياف الحديد.واقل كلفة وتكون ذات مصادر كثيرة ومتنوعة. هناك بعض المواصفات التي تحدد سلوك الالياف الطبيعية كما في الياف السيليلوز التي يجب ان تخضع لها للمواصفة ASTM D ٧٣٥٧. بعض الالياف الطبيعية تتأثر بالقلويات وبعضها ذات مقاومة جيدة لها. يتم تحديد مدى التأثر بالاوساط القاعدية اعتمادا على المواصفة ASTM D ٦٩٤٢. ان عملية توزيع الالياف بصورة منتظمة في الخرسانة تعتبر امرا ضروريا ويمكن استخدام الملدنات الفائقة للحصول على افضل نتيجة ممكنة.

تطبيقات الخرسانة الليفية

تستخدم الخرسانة الليفية في كثير من التطبيقات، كما انه توجد تطبيقات اخرى للخرسانة الليفية نذكر منها ما يلي :

١- قواعد الماكينات التي تولد الاهتزاز.
٢- مناطق الاتصال بين الجسر والعمود فى الهياكل الخرسانية.
٣- في المجالات الزراعية كتبطين الانهار والقنوات. والمنشآت البحرية.
٤- في المجال الامني كعمل الغرف المحصنة مثل الخزائن للاشياء النفيسة.
٥- في اعمال الترميم والصيانة والتقوية والاصلاح للاجزاء الخرسانية المتضررة.

الاضافات الكيميائية (الإضافات الخرسانية)

Chemical admixtures for concrete

Adjuvants du béton

مقدمة عامة:

تُعرف الإضافات الكيميائية بانها كل مادة ما عدا (الاسمنت البورتلندي، ماء الجبل، الحصويات، الياف التسليح) تُضاف بكميات صغيرة الى الخلطة الخرسانية قبل الخلط مباشرة او اثناء الخلط بهدف إعطاء الخرسانة الطرية او المتصلبة صفات معينة .

يمكن تلخيص الأهداف الرئيسة لاستخدام الإضافات الكيميائية وفقا PCA (Portland Cement Association) بما يلي:

١- تخفيض تكاليف الانشاءات الخرسانية.

٢- تامين بعض الخواص للخرسانة بفعالية أكثر فيما لو استخدمت طرق أخرى.

٣- المحافظة على نوعية الخرسانة أثناء مراحل الخلط ، النقل، الصب، المعالجة (الانضاج) في ظروف جوية غير مفضلة.

٤- التغلب على بعض الصعوبات اثناء عملية الصب.

بشكل تفصيلي، فانه وفقا للمواصفة ACI 212-3R يمكن أن نميز بين تأثير الإضافات على الخلطة الطرية و تأثيرها على الخلطة المتصلبة.

تأثير الإضافات الكيميائية على خواص الخرسانة الطرية: من هذه التأثيرات يمكن ان نذكر:

١. زيادة قابلية التشغيل بدون زيادة كمية الماء، أو تخفيض كمية الماء بدون تغيير قابلية التشغيل.
٢. تخفيض او تسريع زمن الأخذ الأولي
٣. تخفيض او تجنب الهبوط في الخرسانة بعد الصب.
٤. تقليل النضح.
٥. تخفيض خطر الانفصال.
٦. تحسين قابلية الضخ للخرسانة.

تأثير الإضافات الكيميائية على خواص الخرسانة المتصلبة: من هذه التأثيرات يمكن ان نذكر:

١. تخفيض نسبة الحرارة المنتشرة اثناء اماهة الاسمنت المبكرة.
٢. تسريع تطور المقاومة في العمر المبكر للخرسانة.
٣. زيادة المقاومة (ضغط، شد، انعطاف)
٤. زيادة مقاومة الخرسانة لدورات التجمد و الذوبان.
٥. تخفيض نفوذية الخرسانة.
٦. تخفيض الانكماش الجاف.
٧. حماية حديد التسليح من الصدأ
٨. انتاج خرسانة ملونة

يوجد العديد من أنواع الإضافات الكيميائية التي يمكن تقسيمها الى عدة مجموعات. تبين الصورة جانبا بعض الإضافات السائلة وهي من اليسار الى اليمين : إضافات ضد الانحلال(انجراف الاسمنت بالماء)، مخفضات الانكماش، مخفضات الماء، العوامل (الصانعات) الرغوية، مانعات الصدأ، مولدات الفقاعات الهوائية سنتعرض فيما اهم مجموعات الإضافات الكيمائية:

الإضافات المخفضة للماء :

تُعتبر هذه المجموعة من الإضافات الأكثر استخدماً ضمن الخرسانة و تشمل مخفضات الماء بدرجات متفاوتة و التحكم بأزمنة الاخذ (تسريع أو تأخير) للخرسانة. وفقاً للمواصفة **ASTM C494** نميز سبعة أنواع من هذه الإضافات:

التسمية باللغة العربية	التسمية باللغة الانكليزية
١- الإضافات المخفضة للماء (النوع A)	1- Type A –water-reducing admixtures
٢- الإضافات المؤخرة للأخذ (النوع B)	2- Type B-retarding admixtures
٣- الإضافات المسرعة للأخذ (النوع C)	3- Type C-acceleration admixtures
٤- الإضافات المخفضة للماء و المؤخرة للأخذ (النوع D)	4- Type D-water-reducing and retarding admixtures
٥- الإضافات المخفضة للماء و المسرعة للأخذ (النوع E)	5- Type E-water- reducing and accelerating admixtures

3- Type F-water-reducing, high range admixtures.	6- الاضافات المخفضة للماء بدرجة عالية (النوع F)
4- Type G-water-reducing, high range and retarding admixtures	٤- الإضافات المخفضة للماء بدرجة عالية و تأخير الأخذ (النوع G)

من قراءة الجدول السابق نجد ان تأثير هذه المجموعة من الإضافات ينحصر بثلاثة بنود:

١. **تخفيض الماء (النوعين A,F) حيث يُسمى النوع A بالملدنات (Plasticizers) و النوع F الملدنات العالية الأداء (Superplasticizers)**

٢. **تأخير الأخذ (النوع B)**

٣. **تسريع الأخذ (النوع C)**

اما النوع D فهم مزيج من النوعين A,B و النوع E مزيج من النوعين A,C و النوع G مزيج من النوعين F,B .

سنستعرض تأثير وآلية عمل وتركيب هذه الإضافات في مايلي:

الإضافات المخفضة للماء :

الهدف:

١.تخفيض كمية ماء الجبل لإنتاج خرسانة ذات هبوط محدد. مخفضات الماء من النوع(A) تخفض الماء بنسبة تتراوح بين %(5-10) و المخفضات العالية الفعالية تُخفض الماء بنسبة تتراوح بين %(10-30) .

٢. زيادة الهبوط دون زيادة ماء الجبل .

تؤدي عملية تخفيض الماء الى النتائج التالية:

١.تخفيض نسبة W/C

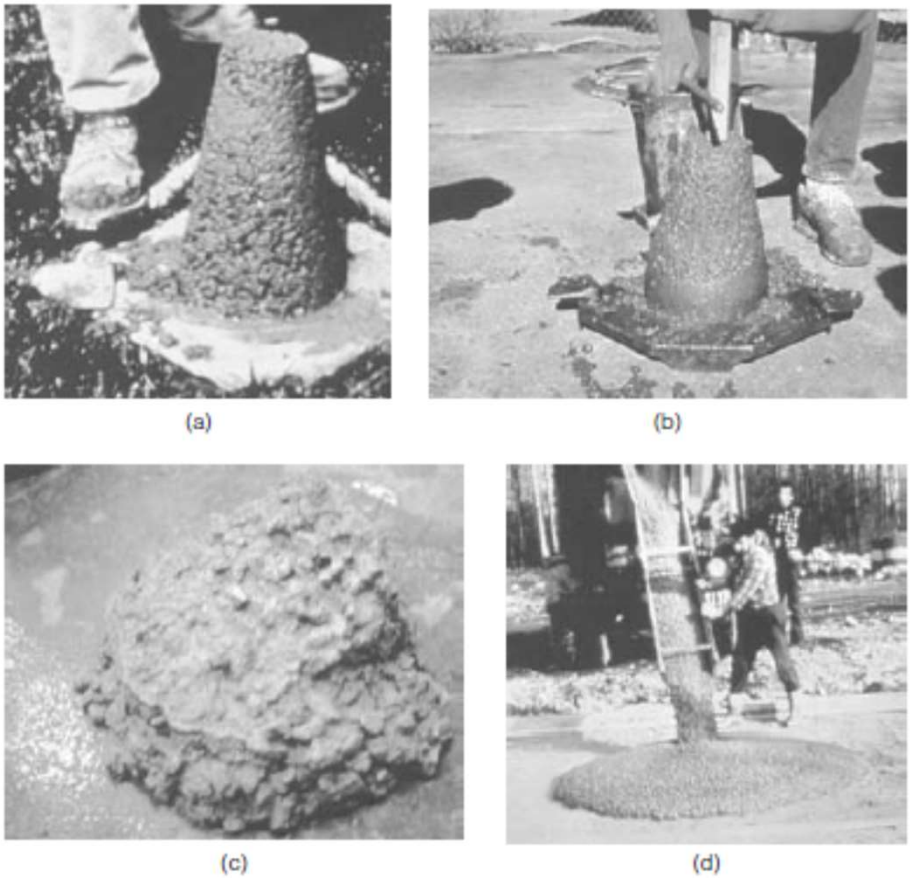
٢.تخفيض كمية الاسمنت.

٣.الحصول على خرسانة ذات مقاومة ابتدائية عالية.

٤.الحصول على خرسانة ذات مقاومة عالية (باستخدام المخفضات العالية الفعالية يمكن الحصول على مقاومة تصل حتى 70MPa .

٥.الحصول على خرسانة عالية الأداء و قليلة النفاذية.

٦.تخفيض النضح و خطر الانفصال ضمن الخرسانة الطرية.



في الشكل جانباً نلاحظ اربع صور :

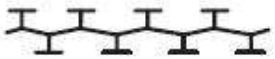
(a) : خلطة خرسانية بدون اية إضافات مخفضة للماء.

(b) : خلطة خرسانية مع إضافات مخفضة للماء عادية التأثير.

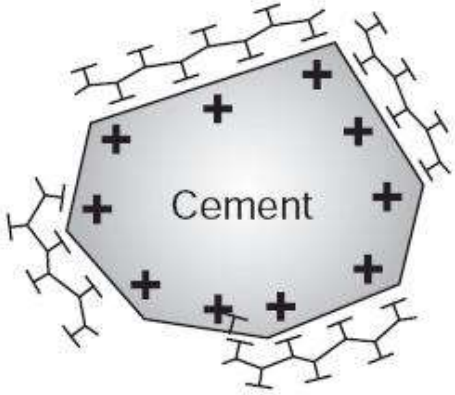
(c) خلطة خرسانية مع إضافات مخفضة للماء متوسطة التأثير

(d) خلطة خرسانية مع إضافات مخفضة للماء عالية التأثير

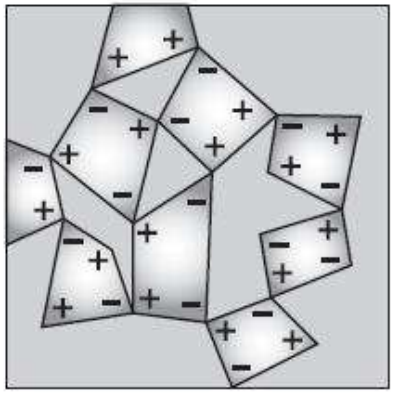
آلية التأثير:



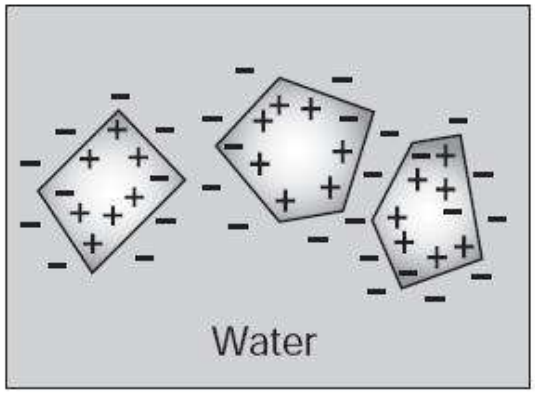
Molecule with anionic polar group in the hydrocarbon chain



(a)



Without the addition of plasticizer



With the addition of plasticizer

(b)

١.عندما تُضاف كمية الماء الى الاسمنت، فان ذرات الاسمنت تتكتل نتيجة لتفاعلات داخلية مثل التفاعلات الالكتروستاتيكية بين الشحنات المتضادة و كذلك تفاعلات الاماهة . يتم حجز كمية من الماء ضمن هذه التكتلات في الوقت ان هنالك حاجة لهذه الكمية من الماء في تفاعلات الاماهة و في تامين قابلية التشغيل.

٢.عنما تُستخدم مخفضات الماء بأنواعها فإنها تعمل على تخفيض الشد السطحي للماء و الالتصاق بذرات الاسمنت فتتحول الذرات الى محبة للماء (انظر الشكل جانباً)، الامر الذي يؤدي الى تبعثر ذرات الاسمنت و الى توزع متجانس للمياه و بالتالي زيادة سيولة الخلطة.

الأساس الكيميائي لمخفضات الماء:

للنوع A :

Lingo-Sulfonte	لجنو-سلفونيت
Hydroxycarboxylic Acids	احماض الهيدروكربوكسيلك
carbohydrates	كربوهيدرات

للنوع F :

Modified Lingo-Sulfonte	لجنو-سلفونيت معدل
Melamine Formadehyde	ميلامين فورمالدهيد
Naphthaline Foemaldehyde	نفتالين فورمالدهيد
Phenol Formaldehyde	فينول فورمالدهيد

حالة خاصة الخرسانة السائلة:

تُعرّف الخرسانة السائلة وفقاً للمواصفة ASTM C1017 بانها الخرسانة التي يكون هبوطها أكبر من 190mm مع المحافظة على ترابط مكوناتها.

وبالتالي يمكن القول أن هذه الخرسانة ذات قابلية تشغيل عالية، يمكن صبها ضمن القوالب بقليل من الرج او عدمه.

- تُحدد المواصفة ASTM C1017 نوعين من الإضافات المستخدمة في الحصول على الخرسانة السائلة هما:

Type I-Plasticizing	النوع I الملدن
Type II-Plasticizing and retarding	النوع II الملدن و المؤخر للأخذ

استخدامات الخرسانة السائلة:

يمكن استخدام الخرسانة السائلة في المجالات التالية:

١. في العناصر ذات المقاطع الضيقة (الصغيرة).

٢. في مناطق كثافة التسليح العالية

٣. في حالة الصب تحت الماء باستخدام المخروط (القادوس).

٤. في الخرسانة المصبوبة بواسطة المضخات لتخفيف الضغط و بالتالي زيادة ارتفاع و مسافة الضخ.

- **ملاحظة ان تأثير أغلب الملدنات على زيادة قابلية التشغيل و السيولة ينحصر بفترة قصيرة تتراوح بين (30-60min) بعد اضافتها للخلطة الخرسانية، حيث تبدأ بعده الخرسانة بفقدان قابلية تشغيلها (هبوطها) بسرعة. لهذا السبب فانه أحيانا تُضاف هذه المواد الى الخرسانة في موقع العمل (الورشة)**
- **تُضاف هذه المواد اما على شكل بودرة او على شكل سائل.**

الإضافات المؤخرة (المبطئة) لزمن الاخذ:

الهدف:

تأخير أزمنة أخذ الخلطة الخرسانية. وفقا للمواصفة ASTM C494 فان هذا التأخير في زمن الاخذ الاولي يتراوح بين (1.00-3.30)h مقارنة بالعينة المرجعية ، كما ان التأخير في زمن الاخذ النهائي يجب ان لا يزيد عن 3.30h .

الاستخدامات:

١.الصب في الأوقات الحارة حيث ان درجة الحرارة المرتفعة للخرسانة (30°C) تسرع تصلب الخلطة.

٢.تأخير أزمنة الاخذ في ظروف الصب الصعبة (صب الركائز و الاساسات الكبيرة، صب جدران ابار النفط، ضخ الخرسانة مسافة اكبر من المعتاد)

٣.تأخير الاخذ للسماح بالقيام بعمليات انهاء خاصة (الاسطح ذات الحصويات البارزة)

ملاحظة:

من الاجراءات العملية التي يمكن القيام بها لتخفيض درجة حرارة الخرسانة الطرية عند الصب في الأجواء الحارة ، ان نقوم بتبريد ماء الجبل، او تبريد الحصويات.

يجب الانتباه الى ان مؤخرات الاخذ لا تُخفض درجة الحرارة الأولية للخرسانة.

الأساس الكيميائي لمبطئات الاخذ:

Sugar	السكر
carbohydrates	المواد الكربوهيدراتية
Zink salts	املاح الزنك
Phosphates	الفوسفات

نسب الإضافة ضمن الخلطات الخرسانية:

يجب اعطاء اهتمام خاص لتحديد نسب الإضافة بشكل دقيق تجريبيا لان استخدام كميات غير مناسبة من هذه الإضافات يمكن ان يمنع اخذ و تصلب الخرسانة.

مثال: ان استخدام السكر بنسبة حوالي 0.05% من كتلة الاسمنت تؤدي الى تأخير الاخذ بحوالي اربع ساعات، اما استخدام نسبة عالية من السكر (0.2-1)% من كتلة الاسمنت فيمكن ان تؤدي منع تصلب الاسمنت.

آلية التأثير:

حتى الان لا توجد آلية واضحة لعمل هذه الإضافات ضمن الخلطة، لكنة من المرجح انها تقوم بتعديل نمو المواد الكريستالية و الهلامية المتشكلة (من مثل هيدروكسيد الكالسيوم) بفعل اماهة الاسمنت ، وذلك من خلال ترسبه على الغلاف المتشكل بسرعة حول ذرات الاسمنت مع بدء إضافة الماء.

ملاحظة:

يمكن ان تؤدي مبطئات الاخذ الى انخفاض مقاومة الخرسانة في العمر المبكر (عمر يوم أو يومين). وفقا للمواصفة ASTM C494 فان مقاومة الخرسانة على عمر ثلاثة أيام يجب ان لا تقل عن 90% من مقاومة الخرسانة المرجعية.

الإضافات المسرعة لزمن الاخذ:

الهدف:

تخفيض (تعجيل) أزمنة أخذ الخلطة الخرسانية. وفقا للمواصفة ASTM C494 فان هذا التخفيض (التعجيل) في زمن الاخذ الاولي يتراوح بين h(3.30-1.00) مقارنة بالعينة المرجعية ، كما ان التخفيض (التعجيل) في زمن الاخذ النهائي يجب ان لا يزيد عن 3.30h .

الاستخدامات:

تُستخدم هذه الإضافات في الأجواء الباردة لتحقيق الأهداف التالية:

١.زيادة سرعة تطور مقاومة الخرسانة في العمر المبكر ، وفقا للمواصفة ASTM C494 فان نسبة المقاومة على عمر ثلاثة أيام يجب ان لا تقل عن 125% من مقاومة الخرسانة المرجعية.

٢.تقليل زمن الانضاج

٣.تقليل زمن البدء بعمليات الانهاء للأسطح

ملاحظة:

يوجد طرق أخرى للحصول على خرسانة ذات مقاومة ابتدائية عالية منها:

١.استخدم اسمنت عالي المقاومة الابتدائية (النوع III) وفقا للمواصفة ASTM C150.

٢.تخفيض النسبة W/C .

٣.استخدام مخفضات الماء.

٤.الانضاج في درجات حرارة عالية

الأساس الكيميائي لمسرعات الاخذ:

Calcium chloride	كلور الكالسيوم
Calcium nitrate	نترات الكالسيوم
Sodium thiocyanate	ثيوسينات الصوديوم

يُعتبر كلور الكالسيوم $CaCl_2$ الإضافة الأكثر استخداما لتسريع الاخذ و لاسيما في الخلطات الخرسانية غير المسلحة، عن طريق تسريع تفاعل اماهة سيليكات الكالسيوم و لاسيما C_3S . يعود استخدامه الواسع لرخصه وفعاليته في تخفيض ازمنة الاخذ.

المشكلة الرئيسية هي احتوائه على ذرات الكلور التي ستكون متواجدة بجوار حديد التسليح عند استخدامه ضمن الخلطات الخرسانية، مما يجعل خطر حدوث صدأ حديد التسليح عالي.

نسب الإضافة ضمن الخلطات الخرسانية:

يجب ان لا تزيد كمية كلور الكالسيوم المضافة للخلطة عن الحد الضروري للحصول على النتيجة المرغوبة ، تتراوح نسبة الإضافة عادة بين %(1-2) من كمية المادة الاسمنتية .

مثال: إضافة كلور الكالسيوم بنسبة 1% من المادة الاسمنتية يؤدي الى تخفيض زمن الاخذ الأولي من 3h الى 1.5h . وزمن الاخذ النهائي من 6h الى 3h ، اما إضافة كلور الكالسيوم بنسبة 2% فيؤدي الى تخفيض زمن الاخذ الاولي الى 1h و زمن الاخذ النهائي الى 2h .

ملاحظة: يؤدي استخدام كلور الكالسيوم بنسبة عالية (اكبر من 2%) الى تأثيرات سلبية على الخلطة منها: زيادة نسبة الانكماش الجاف، صدأ حديد التسليح، انخفاض مقاومة الخرسانة في الاعمار المتأخرة.

الاستخدامات:

يمكن استخدام كلور الكالسيوم بحذر ضمن الخلطات الخرسانية في الحالات التالية:

١.الخرسانة الملونة

٢.الخرسانة المنضجة بالبخار.

٣.الخرسانة المصبوبة ضمن قوالب معدنية مغلفنة.

بالمقابل يُمنع استخدام كلور الكالسيوم في الحالات التالية:

١.الخرسانة المسبقة الاجهاد

٢.الخرسانة الحاوية على انابيب من الالمنيوم المغموسة ضمنها

٣.الخرسانة المعرضة لخطر التفاعل القلوي السيليسي.

٤.الخرسانة ذات التماس المباشر مع الماء او التربة الحاوية على الكبريتات

٥.الخرسانة المصبوبة في الطقس الحار.

٦.الخرسانة الكتلية.

الإضافات المولدة للفقاعات الهوائية (مولدات الفقاعات الهوائية) (Air Entrainers):

الهدف:

تشكيل فقاعات هوائية مكروسوبية مستقرة، غير متصلة، متماثلة في الابعاد، و موزعة بانتظام ضمن الخلطة الخرسانية لتؤمن الفراغ اللازم لاستيعاب زيادة حجم الماء الموجود ضمن الخرسانة والناتج عن تعرضها للجليد.

التأثير:

يؤدي استخدام هذه الإضافات ضمن الخرسانة الى التأثيرات التالية:

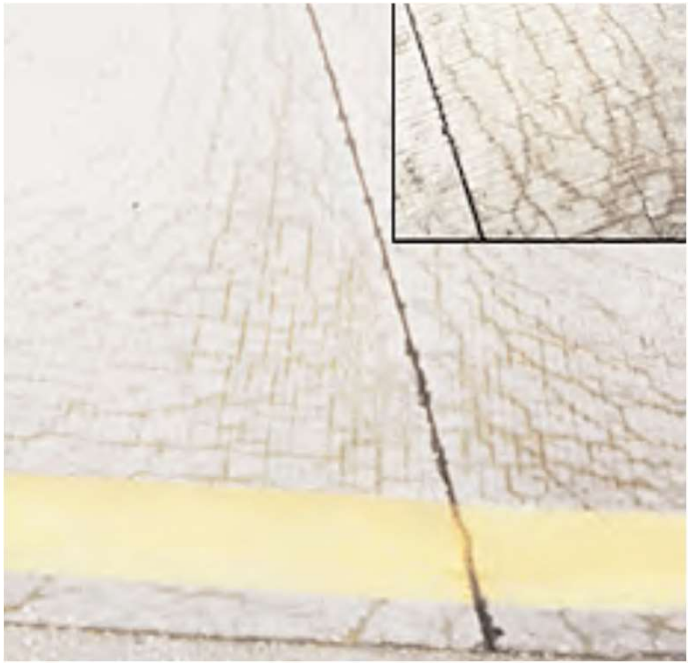
١.تحسن و بشكل ملفت ديمومة الخرسانة المعرضة لدورات من التجمد و الذوبان.

٢.تحسن مقاومة الخرسانة لتقشر الاسطح الناتج عن استخدام املاح الاذابة.

٣.تحسين قابلية تشغيل الخرسانة الطرية بالإضافة الى تخفيض او الغاء النضح و خطر انفصال مكونات الخلطة الطرية

٤.تخفيض مقاومة الخرسانة و يمكن ان تغير ازمنة الاخذ. وفقا للمواصفة ASTM C260 فان تأثير هذه الإضافات على ازمنة الاخذ يجب ان لا يتعدى ±1.15h كما ان مقاومة الخرسانة الحاوية عليها يجب ان لا تقل عن 90% من مقاومة الخرسانة المرجعية.

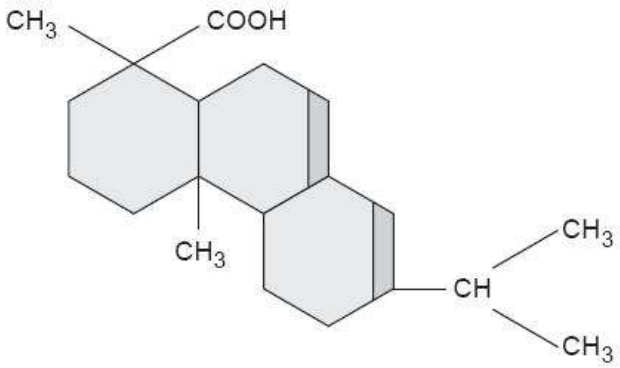
تقشر سطح الخرسانة نتيجة عدم استخدام مولدات الفقاعات ضمنها، عند تعرضها لأملاح الاذابة.



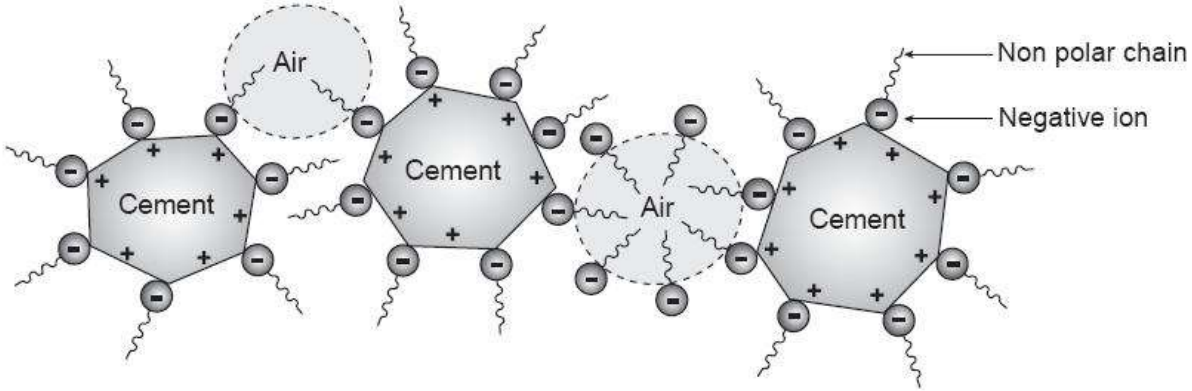
تشقق الخرسانة نتيجة الصقيع.

آلية التأثير:

عند إضافة هذه الواد الى الخلطة الخرسانية فإنها تعمل على تخفيض الشد السطحي لماء الجبل و بالتالي تسهيل تشكل الفقاعات الهوائية. هذه الإضافات عبارة عن سلاسل هيدروكربونية تحمل مجموعة سالبة في احد نهايتيها مما يجعلها تنجذب نحو حواف ذرات الاسمنت ذات الشحنة الموجبة و تلتصق على سطحها محمولة إياها الى ذرات كارهة للماء، الامر الذي يسهل انتقال فقاعات الهواء المتشكلة لتتموضع بين ذرات الاسمنت كما هو موضح على الشكل في الأسفل.



(a)



(b)

نسب الإضافة ضمن الخلطات الخرسانية:

تضاف هذه المواد الى الخرسانة بنسبة تتراوح بين (0.01-0.03)% من وزن الاسمنت فتولد نسبة فراغات ضمن الخلطة تتراوح بين (1.0-7.5)% . الفقاعات المتولدة ذات اقطار بحدود 50µm . يبلغ عددها تقريبا 14 بليون فقاعة في $1m^3$

ملاحظة: تتحسن مقاومة الصقيع بنقصان حجم الفقاعات، كما ان الفقاعات الصغيرة تأثير سلبي اقل على مقاومة الخرسانة من الفقاعات الكبيرة

الأساس الكيميائي لمولدات الفقاعات الهوائية:

Salts of wood resins (vinsol resin)	أملاح الاصماغ الخشبية (صمغ فينسول)
Salts of petroleum acids	املاح الاحماض البيترولية
Salts of sulfonated lignin	املاح اللغنين السولفونيتيد
Salts of sulfonated hydrocarbons	املاح الهيدروكربونات السيلفونية

الإضافات المخفضة لنفوذية الخرسانة (Permeability reducing admixtures):

الهدف:

تقليل نفاذ الماء الى الخرسانة تحت الضغط.

بشكل عام نفاذية الماء الى داخل الخرسانة يتم بإحدى طريقتين: اما تحت تأثير الضغط الهيدروستاتيكي و يسمي النفوذية و اما عبر التشققات المجهرية و الفراغات الشعرية بفعل ظاهرة الامتصاص الشعري.

ملاحظة: يوجد طرق أخرى للتقليل من نفاذية الخرسانة (غير استخدام مخفضات النفوذية) منها:

١. الاهتمام بتصميم الخلطة من خلال استخدام نسبة W/C الاقل من 0.5 .

٢.زيادة فترة الانضاج (المعالجة) الرطب للخرسانة.

٣.استخدام الإضافات الاسمنتية و لا سيما هباب السيليس (التفاعل البوزولاني).

التأثير:

زيادة ديمومة الخرسانة و لاسيما التي منها على تماس مباشر مع الأوساط المائية، من خلال السيطرة على حركة الماء و الرطوبة و تغلغل ذرات الكلور ضمنها.

آلية التأثير:

تشمل هذه الإضافات نوعين من المواد: مواد صلبة ناعمة جدا تعمل على ملء المسامات ضمن الخرسانة وبالتالي إعاقة مرور الماء ضمن الخرسانة. غالبا تكون عملية الاملاء للفراغات غير تامة و بالتالي يحدث خفض للنفوذية و ليس توقفها. ومواد كريستالية تتفاعل مع الماء و الاسمنت لتشكل سيليكات الكالسيوم المائية(C-S-H) التي تترسب ضمن المسامات و الشقوق المجهرية مانعة الماء من الدخول الى الخرسانة

الأساس الكيميائي لمخفضات النقوذية:

لاتكس	Latex
ستيارات الكالسيوم	Calcium stearate

ملاحظة:

يوجد نوع من الإضافات يُسمى Damp-proofing Admixtures (إضافات مانعة للرشح او الرطوبة) يتم تصنيفها بعض الأحيان ضمن مخفضات النفوذية. و هي مؤلفة من مواد صابونية و مواد بترولية تعمل على تشكيل غشاء رقيق على سطح الخرسانة . يقوم هذا الغشاء بطرد الماء و منعه من الدخول الى الخرسانة، هذه المواد ليست ذات فعالية كبيرة في حالة الخرسانة المعرض لضغط هيدروستاتيكي كبير و كذلك في حالة التشققات الحرارية و الميكانيكية التي تحدث ضمن الخرسانة.

أمثلة على هذه الإضافات : bitumen emulsions (مستحلبات بيتومينية) Soaps of calcium (صابون محضر بأملاح الكالسيوم)

الإضافات المانعة لانجراف الاسمنت بفعل الماء (Anti washout admixtures):

الهدف:

منع اجتراف (انجراف) الاسمنت من الخلطة الاسمنتية عند الصب تحت الماء.

التأثير:

- تعمل هذه الإضافات على زيادة لزوجة ماء الخلط، و على زيادة الترابط بين مكونات الخرسانة ، الامر الذي يسمح بالقيام بعملية الصب تحت الماء و بدون استخدام ا(لقاوس او السطل) و بحيث يكون فقدان الاسمنت من الخلطة قليل جداً.

آلية التأثير:

- تعمل هذه الإضافات على تكوين جل (منطقة لزجة) في الماء المحيط بذرات الاسمنت فتحميه من الانجراف و تزيد لزوجة الخرسانة و تحسن مقاومتها ضد الانفصال.

الأساس الكيميائي لمانعات الانجراف:

بوليمرات أكريليكي	Acrylic polymer
مركبات سيلولوزية	cellulose

نسبة الاضافة:

- تُضاف هذه المواد الى الخلطة الخرسانية بنسبة تعادل 1% تقريبا من وزن المادة الرابطة الاسمنتية.

الإضافات المنظمة لعملية الاماهة (hydration controlling admixtures):

الهدف:

إيقاف اماهة الاسمنت لفترة زمينة معينة ثم معاودة نشاط تفاعل الاماهة. أصبحت هذه الإضافات متاحة في منتصف ثمانينات القرن الماضي (1986) .

التأثير:

- تعمل هذه الإضافات على إيقاف اماهة طوري الالومينات و السيليكات ضمن الاسمنت البورتلندي ثم إعادة تفعيل تفاعلات الاماهة لهذين الطورين بعد فترة زمنية معينة. يمكن ان تصل مدة تثبيط الخرسانة حتى 72h . تتألف هذه الإضافات من الناحية الكيميائية من قسمين:
  - الأول : يُسمى المثبط او المؤخر ووظيفته الرئيسية إيقاف اماهة الاسمنت.
  - الثاني:يُسمى المنشط ووظيفته إعادة تفعيل اماهة الاسمنت المثبط باستخدام القسم الأول.

مجال الاستخدام:

- تسمح هذه الإضافات بإعادة استخدام الخرسانة الجاهزة المتبقية ضمن الجبالات نتيجة حلول الظلام مثلا.
- تسمح هذه الإضافات بنقل الخرسانة لمسافات طويلة

الأساس الكيميائي لمنظمات الاماهة:

Carboxylic acids	الاحماض الكربوكسلية
Phosphorus- containing organic acid salts	الفوسفور الحاوي على املاح احماض عضوية

نسبة الاضافة:

- **تختلف النسبة وفقا للاستخدام فعند الحاجة لإطالة ازمنة الاخذ تتراوح نسبة الاستخدام بين (1.304ml/kg cement-26.08ml/kg) و عند الحاجة لتثبيط الخرسانة لفترات زمنية طويلة فان نسبة الاستخدام تتراوح بين (2.608ml/kg-83.456ml/kg) .**

اضافات تلوين الخرسانة (Coloring admixtures):

الهدف:

مواد طبيعية او اصطناعية تُستخدم لتلوين الخرسانة لأهداف جمالية او لأهداف تتعلق بالسلامة، فمثلا: تحيط الخرسانة الحمراء اللون بالتمديدات الكهربائية و انابيب الغاز، كما تُستخدم الخرسانة الصفراء اللون لتوضح حواف السلامة في انشاءات الرصف الطرقي و الأرصفة..

نسبة الاضافة:

- **يجب ان لا تتعدى نسبة هذه الإضافات نسبة 10% من وزن الاسمنت وعادة يتم استخدامها بنسبة تعادل 6% لان هذه النسبة لا تؤثر على الخواص الفيزيائية للخرسانة. عندما تزيد نسبة الإضافة عن 6% فإنها تبدأ بالتأثير على خواص الخرسانة من حاجتها لكميات اضافية من الماء وما ينعكس بعد ذلك من تأثير سلبي على مقاومة الخرسانة بعد تصلبها.**

ملاحظة:

قبل استخدام هذه الإضافات ضمن المشاريع لا بد من اختبار ثباتها اللوني بتعرضها لأشعة الشمس و بتعرضها للمواد الكيميائية و للتسخين بالاتوكلاف

الأساس الكيميائي و الأثر اللوني لهذه الاضافات:

الإضافة (Pigment)	اللون (color)
أكسيد الحديد الأسود (Black iron oxide)	الرمادي (Gray)
الكوبالت الأزرق (Cobalt blue)	الأزرق (Blue)
أكسيد الحديد الأحمر (Red iron oxide)	الأحمر (Red)
أكسيد الكروم البني (Chromium oxide)	البني (Brown)
أكسيد الحديد الأصفر (Yellow iron oxide)	الأصفر (Yellow)

ملاحظة:

ان الحصول على لون صافي يتطلب استخدام الاسمنت الأبيض مع هذه الاضافات

الإضافات الطاردة الهواء (Air detrainers):

الهدف:

تخفيض محتوى الهواء ضمن الخرسانة.

مجال الاستخدام:

تُستخدم هذه الإضافات عندما لا نستطيع تقليل الفراغات الهوائية عن طريق ضبط مكونات الخلطة، او عن تعديل نسبة مولدات الفقاعات الهوائية.

ملاحظة: نادرا ما يتم استخدام هذه الإضافات لذلك فان نسبة استخدامها و تاثيرها يتم تحديده عن طريق التجارب المخبرية.

الأساس الكيميائي لطاردات الهواء:

الفوسفات الثلاثي البيوتيل	Tributyl phosphate
الاستيرات المنحلة بالماء للحمض الكربوني و لحمض البوريك	Water-insoluble esters of carbonic and boric acid

إضافات متنوعة (Miscellaneous admixtures):

الإضافات المخفضة لانكماش الخرسانة (Shrinkage-reducing admixtures) :

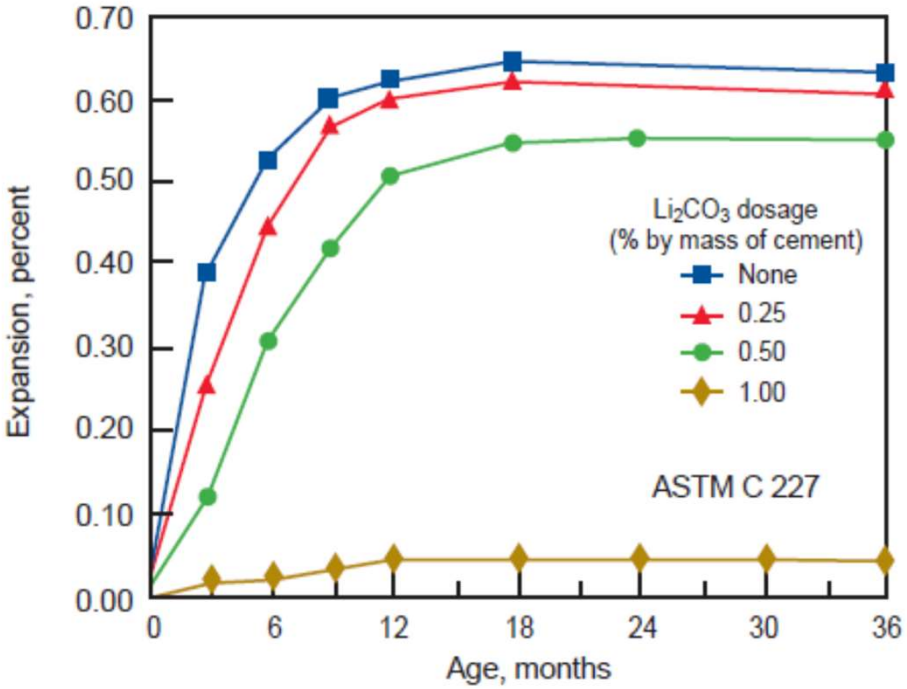
أدخلت هذه الإضافات في الاستخدام في ثمانينات القرن الماضي و هي تعمل على تخفيض الانكماش الجاف بنسبة تتراوح بين (25-50)% . تُستخدم هذه الإضافات في المنشات من مثل بلاطات الجسور و التي يتوجب فيها تقليل خطر التشققات و تجعد الخرسانة لأسباب جمالية و لأسباب تتعلق بالديمومة. من هذه الإضافات : غليكول لبروبلين (Propylene glycol)

الإضافات المخفضة المانعة لتاكل حديد التسليح (corrosion inhibitors):

توقف هذه الإضافات تأكل حديد التسليح كيميائيا من خلال إيقاف تفاعل ذرات الكلور مع اكسيد الحديد المتكون على سطح قضبان التسليح مما يؤدي الى تحطم الطبقة الحامية لحديد التسليح والبدء بتشكل الصدأ. تستخدم هذه الإضافات في المنشآت المعرضة لأملاح الكلور مثل المنشآت البحرية.

من هذه الإضافات نتريت الصوديوم (nitrite sodium) ، نتريت الكالسيوم (nitrite calcium)

الإضافات الكيميائية المخفضة للفعالية القلوية الحصوية (مانعات التفاعل القلوي السيليسي) (Chemical admixtures to reduce Alkali-Aggregate reactivity (ASR inhibitors):



بدأ استخدام هذه الإضافات في منتصف التسعينات من القرن الماضي . تعمل هذه المواد على التحكم بالتفاعل القلوي السيليسي (السيطرة و التحكم بالمادة الهلامية المنتفخة و المتشكلة نتيجة هذا التفاعل)

من هذه الإضافات: نترات الليثيوم Lithium nitrate و كربونات الليثيوم Lithium carbonate .

الإضافات الرابطة و العناصر الرابطة (Bonding admixtures and Bonding agents):

- تتألف الإضافات الرابطة من مستحلبات مائية لمواد عضوية مثل المطاط، الاكريليك وغيرها من المواد البوليميرية. حيث تُضاف هذه المواد الى خلطات الاسمنت البورتلندي لزيادة قوة التماسك بين الخرسانة القديمة و الخرسانة الجديدة، كما أنها تُحسن مقاومة الخرسانة على الانعطاف و تعيق تسرب ذرات الكلور الى داخل الخرسانة.
- تُضاف هذه المواد الى الخلطة بنسبة تتراوح بين %(5-20) من كتلة المادة الاسمنتية و ذلك وفقا لنوع العمل المنفذ و نوع الإضافة المستخدمة.

ملاحظة: للحصول على افضل النتائج عند استخدام هذه المواد، يجب ان يكون السطح الذي توضع علية الخرسانة جافا، نظيفاً وخاليا من الغبار و الدهون و الاوساخ و الطلاء .

- يجب التفريق بين الإضافات الرابطة و العناصر الرابطة، فالإضافات هي احدى مكونات الخرسانة في حين ان العناصر الرابطة تُوضع (تُطبق) على سطح الخرسانة الموجودة (القديمة) مباشرة قبل وضع الخرسانة الجديدة، فهي تعمل كصمغ بين الخرسانة القديمة و الجديدة.
- تُستخدم العناصر الرابطة في اعمال اصلاح و ترميم الخرسانة و هي مكون من المواد البوليمرية (الايبوكسي) او الكراوت (المونة الاسمنتية) المعدلة باللاتيكس.

التوافق بين الإضافات الكيميائية و المواد الاسمنتية:

- يمكن للخلطات الخرسانية الطرية ان تواجه العديد من المشكلات المتنوعة في شدتها بسبب عدم التوافق بين الإضافات الكيميائية وبين الاسمنت او بين الاضافات الكيميائية و بين الإضافات المنيرالية، كما ان عدم التوافق قد يحدث بين الاسمنت و الإضافات الاسمنتية. من نتائج عدم التوافق: فقدان الهبوط للخلطات الطرية، تغير في نسبة الهواء ضمن الخلطة، حدوث تصلب مبكر للخلطة، كما ان عدم التوافق يمكن ان يؤثر على الخرسانة المتصلبة فمثلا التصلب المبكر للخلط الطريقة يؤثر سلبا على إمكانية رصها ضمن القالب و هذه ينعكس بشكل سلبي على المقاومة

- لا يوجد طرق اختبار موثوقة لمسائل عدم التوافق بسبب التنوع الكبير في المواد و في ازمنة الخلط و ادواته و كذلك في الظروف البيئة لموقع العمل. فالاختبارات المخبرية لا تعكس الظروف التجريبية في الموقع. وعند ملاحظة عدم التوافق في الموقع فالحل العام هو تغيير الإضافات سواء اكانت كيميائية او مينرالية

تخزين الإضافات الكيميائية:

- تُخزن الإضافات السائلة في براميل بينما تخزن الإضافات التي تكون على شكل بودرة ضمن صناديق او أكياس بلاستيكية مسبقة الوزن.
- يجب تعريف الإضافات الموزعة على المجابل المركزية بشكل صحيح من خلال بطاقات تعريفية تُلصق عليها لتجنب تلوثها او استخدامها بنسب غير صحيحة.
- الإضافات السائلة تضاف لماء الجبل ثم بعد ذلك للخلطة
- يمكن قياس الإضافات سواء اكانت سائلة او على شكل بودرة وزناً بينما ُيمنع قياس البودرة حجماً.
- لا يجوز تجمد الإضافات السائلة لذلك يتم حفظها في أماكن مسخنة اما البودرة فان اقل حساسية تجاه درجة الحرارة و تاثرها الأكبر يكون تجاه الرطوبة.

المواد البوزولانية

البوزولانات، المعروفة عادةً باسم "مُوسِّعات الأسمنت"، هي مواد تُظهِر خصائص أسمنتية عند خلطها مع هيدروكسيد الكالسيوم. يُحسِّن التفاعل بين مكونات الخرسانة والبوزولانات جودة الخرسانة وقابليتها للتشكيل. من أمثلة الإضافات البوزولانية: الرماد المتطاير، وغبار السيليكا، ورماد قشر الأرز، والميتاكاولين .

١) خبث الفرن العالي الحبيبي المطحون

خبث فرن الصهر الحبيبي المطحون (GGBF) هو منتج ثانوي لإنتاج الحديد. وهو مادة حبيبية تتشكل عند خلط خبث فرن الصهر الحديدي المنصهر بسرعة مع الماء أو غمره فيه. ونظرًا لمتانته وقوته الفائقة، يُستخدم خبث فرن الصهر الحبيبي المطحون عادةً في صناعة الهياكل الخرسانية المزدوجة.

٢) الرماد المتطاير

هذا هو الناتج الثانوي لمحطات الطاقة التي تعمل بالفحم. الرماد المتطاير هو في الأساس بقايا دقيقة ناتجة عن احتراق الفحم المطحون أو المسحوق. تُجمع هذه البقايا الدقيقة من مداخن محطات الطاقة التي تعمل بالفحم. عند استخدامه كمادة مضافة، يُقلل الرماد المتطاير من ترطيب الخرسانة بالحرارة ويُحسّن قابليتها للتشغيل ومتانتها .

٣) دخان السيليكا

يُعدّ دخان السيليكا المُضاف مُنتجًا ثانويًا لإنتاج معدن السيليكون وسبائك الفيروسيليكون. وهو مادة بوزولانية شديدة التفاعل، ومُجرد إضافته يجعل الخرسانة متينة وقوية للغاية. يُقلّل دخان السيليكا من نفاذية الخرسانة، مما يزيد من مقاومتها للعوامل الجوية المحيطة ويحمي الفولاذ من التآكل.

٤) قشر الأرز

عند حرق قشور الأرز، يُنتَج رماد قشور الأرز. يُستخدم هذا الناتج الثانوي لحرق قشور الأرز كمادة بوزولانية تُحسّن أداء الخرسانة ذاتية الرص عالية الأداء .كما يحتوي على نسبة عالية من السيليكا، ويُحسّن خصائص الخرسانة من حيث قابلية التشغيل، وعدم النفاذية، والقوة، ومقاومة التآكل.

العوامل المؤثرة على أداء المواد المضافة في الخرسانة

١ -نوع الخليط

صُممت أنواع الإضافات المختلفة لأداء وظائف محددة، مثل تحسين قابلية التشغيل، وزمن التصلب، والمتانة، ومتانة الخرسانة. ويؤثر النوع المختار على أداء الإضافات في الخرسانة، إذ يختلف كل نوع بخصائص كيميائية وفيزيائية مختلفة .

٢- الجرعة

بما أن الإضافات تُغير خصائص الخرسانة، فإن إضافة كمية زائدة، أو حتى غير كافية، إلى الخرسانة قد تؤثر بشكل كبير على أدائها. وفي أغلب الأحيان، قد تحدث مشاكل في الفصل والتسرب عندما لا تكون جرعة الإضافات بالمستوى الأمثل.

٣ -نوع الأسمنت وتوافقه

يُعطي كل نوع من أنواع الأسمنت نتائج مختلفة مع اختلاف الإضافات. وبالتالي، يتحدد أداء الخرسانة أيضًا بمدى توافق المادة المضافة مع الأسمنت. أي تباين بينهما سيؤثر على قابلية الخرسانة للتشغيل، وانفصالها، ومتانتها، وزمن تصلبها .

٤- درجة الحرارة المحيطة

يعتمد أداء المادة المضافة أيضًا على درجة حرارة البيئة المحيطة. أي زيادة في درجة الحرارة المحيطة ستزيد من جرعة التشبع، مما يؤثر على فعالية الخرسانة .

٥- المزيج

تؤثر المكونات المختلفة للمواد المضافة على أدائها النهائي. فإضافة الماء، والركام الخشن، والركام الناعم، والأسمنت تؤثر على أداء المواد المضافة، وتفاعلها الفيزيائي، وتشتتها، وكفاءتها.

المصادر:-

١- نيفيل، خواص الخرسانة، ترجمة حقي اسماعيل، مؤسسة المعاهد الفنية. ام . اي -١ ١٩٨٥

٢- مؤيد نوري خلف، تكنولوجيا الخرسانة، الجامعة التكنولوجية ، مركز التعريب للنشر ، ١٩٨٥ د-٢

٣- جلل بشير سرسم ، تكنولوجيا الخرسانة ،مؤسسة المعاهد الفنية ، الطبعة الولى ،-٣ ١٩٨٥

٤- الكيمياوي محمد اسماعيل عمر ،السمنت صناعته وخصائصه، دار الكتب العلمية ٢٠٠٤ ،القاهرة-

٥ - M.L. Gambhir, Concrete Technology, Third Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi, ٢٠٠٤