وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

هيئة التعليم التقني

المعهد التقني : بابل

القسم : التقنيات المدنية الفرع : بناء وانشاءات

المرحلة : الاولى

# مـــواد الخرسانة

اعداد

كريم فاضل عبود

مدرس

# المفردات النظرية لمادة مواد الخرسانة(Concrete Materials)

| الاسبوع | تفاصيل المفردات النظرية |
|---|---|
| الأول والثاني | مباديء عامة عن الخرسانة(تعريفها،المصطلحات، الخاصة بها،خواصها). |
| الثالث والرابع والخامس | السمنت البوتلاندي،صناعته،تركيبه الكيمياوي، أنـــــــــواعه . |
| السادس | الانواع الاخرى للسمنت(الاسمنت الطبيعي، السمنت التمددي expanding cement، السمنت الألومينيaluminous cement، ومواصفات كل نوع. |
| السابع والثامن | خواص السمنت :النعومة،فقدان الوزن بالأحتراق، ثبات السمنت، حرارة الاماهه. |
| التاسع والعاشر | تكملة خواص السمنت : وقت التماسك الأبتدائي والنهائي،قوة التحمل الانضغاطية،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 والسادس عشر | الصفات الميكانيكية للركام : (الوزن النوعي،وحدة الوزن المرصوصة وغير المرصوصة، التدرج، المسامية، قابلية الأمتصاص، التآكل ــ السحج، تضخم الرمل |
| السابع عشر والثامن عشر | نسبة الأملاح والمواد العضوية والمواد الطينية بالركام خاصة الرمل،التفاعل مع المواد القلوية. |
| التاسع عشر | الركام الخفيف والثقيل: انواع الركام الخفيف Light weight agg. (الطبيعي والصناعي)، |

| | |
|---|---|
| والعشرون | ميزات الركام الخفيف وسلبياته مقارنة بالركام العادي. |
| الحادي والعشرون والثاني والعشرون | مواصفات الركام الخفيف المستعمل في الخرسانة الأنشائية،مواصفات الركام الخفيف المستعمل في العازلة ومواصفات الركام الخفيف المستعمل في انتاج الكتل الخرسانية. |
| الثالث والعشرون | استعمالات السيلكاsilica وبخار السيلكا silica fume والرماد المتطايرfly 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 الخرسانةfibers ( الأنواع، المواصفات) . |
| السادس والعشرون السابع والعشرون | المواد المضافة للخرسانةadmixtures : الأنواع واسباب استعمال كل نوع(المضافات المقللة لماء الخلط،المضافات المِؤخرة،المضافات المعجلة، مضافات تحسين التشغيلية،المضافات المنقحة، مضافات مقاومة التجمد |
| الثامن والعشرون والتاسع والعشرون الثلاثون | 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 .<br>المتطلبات الفيزياوية للمضافات الخرسانية حسب المواصفات القياسية( المقدار المسموح به لتأخير وقت التماسك للمواد المؤخرة والوقت المسموح به للتعجيل للمواد المعجلة.....). |

# الوحدة النمطية الاولى

## الاسبوع 1 +2

# مباديء عامة عن الخرسانة

(تعريفها،المصطلحات الخاصة بها،خواصها)

# ١- النظرة الشاملة (Over View):

## أ- الفئة المستهدفة (Target Population):-

طلبة المرحلة الاولى في قسم التقنيات المدنية فرع بناء وانشاءات في هيئة التعليم التقني .

## ب- مبررات الوحدة (Rationale):-

تعتبر الخرسانة من أكثر المواد الانشائية شيوعا" في الوقت الحاضر. وتنتج الخرسانة في أغلب ألاحيان موقعيا" تحت ظروف تكون فيها السيطرة النوعية متغيرة من موقع الى آخر مما يجعل خواص الخرسانة تعتمد على المهارة البشرية المستخدمة في صنعها ولقد شاع استخدام الخرسانة على نطاق واسع بسبب مزاياها الهندسية والاقتصادية حيث تمتاز بقابليتها على التشكيل بالشكل المطلوب وتوفر المواد الاولية وخواصه الميكانيكية الجيدة وتعتمد خواص الخرسانة بشكل أساسي على خواص المواد الداخلة في تركيبها كالسمنت والركام والمواد المضافة والماء وكذلك على نسب الخلط وبشكل خاص نسبة الماء الى السمنت كما تلعب طريقة المعالجة ومدتها دورا" كبيرا" في تحديد خواص الخرسانة . وكذلك تمتاز الخرسانة بانخفاض كلفتها حيث يصنع السمنت محليا ومواده الأولية متوفرة بكثرة في عدة مناطق في العراق وكذلك الركام الناعم والخشن.

وسنتناول في هذه المرحلة تعريف الطالب بالمواد المكونة للخرسانة واتقانه لخواص هذه المواد الفيزياوية والميكانيكية وتأثيرها على الخرسانة .

## ج- أهداف الوحدة (Objectives):-

سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحده قادرا" على أن :

1 ـ يتعرف على الخرسانة وتركيبها والمواد الداخلة في صناعة الخرسانة .

2 ـ يتعرف على المصطلحات الخاصة بالخرسانة .

3 ـ يتعرف على انواع الخرسانة.

## ٢-عرض الوحدة النمطية

عرض الوحدة النمطية

# مواد الخرسانة

الخرسانة:-هي عبارة عن خليط غير متجانس من الركام الخشن(الحصى)والركام الناعم(الرمل)والاسمنت والماء مع بعض الفراغات ويمكن اضافة بعض المواد الاخرى (المضافات)للحصول تصبح صلبة وقوية وتتفاوت قوتها حسب المكونات الاساسية وكذلك حسب طريقة الرج اثناء الصب ونوعية المعالجة.

الكتلة الصلبة.

وتعتبر الخرسانة من المواد الانشائية الواسعة الاستخدام في العالم اذ يبلغ الاستهلاك الاجمالي في العالمton/year  40 pillion

وسبب سعة استخدام الخرسانة في العالم يعود الى عدة اسباب:-

1- امتلاكها مقاومة ممتازة للماء وخيردليل على ذلك استخدامها الواسع في السدود وقنوات الري وخزانات وانابيب المياة.
2- سهولة تشكيل الخرسانة حيث يمكن عمل أشكال واحجام متنوعة من المقاطع الخرسانية ويعود السبب في ذلك الى القوام اللدن للخرسانة في حالتها الطرية.

3- رخص وتوفير المواد الاولية فالمكونات الرئيسية هي الاسمنت البورتلاندي والركام بنوعية الخشن والناعم تكون رخيصة ومتوفرةفي ارجاء العالم.
4- انتاج الخرسانة يتطلب طاقة أقل مقارنة بالمواد الانشائية الاخرى

عند خلط الاسمنت والماء فقط يسمى الخليط(عجينة الاسمنت)

وتدعى العجينة الاسمنتية المتجمدة (الاسمنت المتحجر)

وبما ان هذا الخليط غالي الثمن اذا تم استخدام مجاميع( Aggregates)لزيادة حجم الخرسانة(وهي الحصو والرمل).

ومن خواص الخرسانة تاخذ الشكل المطلوب عند صبها بالقوالب والخليط الجيد من الخرسانة ينتج مادة صلبة تتحمل قوى الدفع ولكن تنكسرفي حالة الشد لذلك تضاف في الاماكن التي فيها قوة شد كمية من الحديد لزيادة خاصةالشدوفي هذة الحالة تسمى الخرسانة المسلحة.

وتتغير خواص الخرسانة بمرور الزمن نتيجةللظواهر الفيزيائية والكيميائية التي تحدث اثناء عملية تجمد الخرسانة(كالتبلوروتقلص حجم الجلGel وتبخر الماء الزائدوغيرها)

انواع الخرسانة:-

1- الخرسانة الاعتيادية(Plain Concrete) والمستعملة بشكل كبير في البناء مثل التبليط والسدود والساحات.
2- الخرسانة المسلحة(Reinforced Concrete) الشائعة الاستعمال في البناء للسقوف والجسور والاعمدة والاسس وفي كل محل يتطلب قوى عالية للشد والضغط.
ومؤخرا ازدادت اهمية نوع اخر من الخرسانة هي الخرسانة المسبقة الجهد(Pre-stress concrete) حيث يستفاد منها في شتى المجالات كالجسور والملاعب ومن مميزاتها استخدام سمك أقل اي حجم أقل من الخرسانة وبقوة تضاهي قوة الخرسانة المسلحة.
اما بالنسبة لقوة الشد فتكون عالية جدا ويتطلب هذا النوع من الخرسانة الى ايدي ماهرة وطرق فنية خاصة لانتاج هذا النوع من الخرسانة.

وفي الاونة الاخيرة بدا الاتجاة نحو استخدام البناء الجاهز والذي يتطلب توفير مفردات البناء من الخرسانة المسلحة في المعامل وتجهيز المواقع بها لربطها.

وتصنف الخرسانة نسبة الى وزنها اوكثافتها الى:-

1- الخرسانة الاعتيادية الوزنN.W.C(Normal Weight Concrete) وتكون كثافتها حوالي2400Kg/m3

2- الخرسانة الخفيفة الوزنL.W.C(Light Weight Concrete) تستخدم للاغراض الانشائية والعزل الحراري كثافتها تتراوح بين (300-1850)Kg/m3 وتوجد على ثلاثة انواع:-

أ-الخرسانة ذات الركام الخفيف وتستخدم للاغراض الانشائية

ب-الخرسانة الخالية من الرمال

ج-الخرسانة المهواة وتستخدم لأغراض العزل الحراري

3- الخرسانة العالية الكثافة(الخرسانة الثقيلة) كثافتها اكبر من3200Kg/m3وتستخدم في المفاعلات النووية

وتصنف الخرسانة نسبة الى مقاومة انضغاطها الى:-

1-خرسانة ذات مقاومة قليلةLow strength concretrمقاومتهااقل من20Mpa

2-خرسانة متوسطة المقاومةMedium strength concrete مقاومتها بين-20 40Mpa

3-خرسانة عالية المقاومةHigh strength concreteمقاومتها اكبرمن40Mpa

وهناك انواع عديدة من الخرسانة المعدلة مثل:-

1-الخرسانة المسلحة بالالياف Fiber reinforced concrete

2-الخرسانة البوليمريةPolymer concrete

3-الخرسانة ذات قابلية التشغيل العاليةHigh workability concrete

4-الخرسانة المعوضة الانكماشShrinkage compensated concrete

5-الخرسانة الكتليةMass concrete

## ٣-الإختبار البعدي (Post – Test):

أكمل العبارات التالية:- (تكملة العبارة قد يكون كلمة أو عدة كلمات)

1ـ عند خلط الاسمنت والماء فقط يسمى الخليط - - - - - - - - - - - - - .

2ـ تدعى العجينة الاسمنتية المتجمدة - - - - - - - - - - - - - .

3ـ تكون الخرسانة الخفيفة الوزن على ثلاثة انواع هي - - - - - - - - - - -

## المصـــــــــــــــادر:


1. تكنولوجيا الخرسانة ، د. مؤيد نوري خلف ، هناء عبد يوسف، 1984 بغداد ، مركز تعريب ونشر الجامعة التكنولوجية.
2. تكنولوجيا الخرسانة ، جلال بشير سرسم ،1986، بغداد ، مطبعة بغداد.

# الوحدة النمطية الثانية

## الاسبوع 3ـــ5

السمنت البورتلاندي،صناعته،تركيبه الكيمياوي،أنواعه

# ١- النظرة الشاملة (Over View):

## أ- الفئة المستهدفة (Target Population):-

طلبة المرحلة الاولى في قسم التقنيات المدنية فرع بناء وانشاءات في هيئة التعليم التقني

## ب- أهداف الوحدة (Objectives):-

سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحده قادرا" على :

1.معرفة الاسمنت والمواد الداخلة في صناعة الاسمنت

2. معرفة طرق صناعة الاسمنت

3.معرفة التركيب الكميائي للاسمنت

4.معرفة انواع الاسمنت ومقارنتها بالمواصفات العراقية القياسية

5.معرفة الاستعمالات لكل نوع من الاسمنت حسب الحاجة والموقع

# ٢- الاختبار القبلي (Pre – Test):

أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ ان وجد لكل مما يأتي:ـــ

1ـ الخرسانة عالية المقاومة مقاومتها أكبر من20Mpa.

2ـ تمتاز الخرسانة المسبقة الجهد بحجم اقل من الخرسانة وبقوة تضاهي قوة الخرسانة المسلحة.

3ـ استخدام الخرسانة الواسع في السدود وقنوات الري وخزانات وانابيب المياة لامتلاكها مقاومة ممتازة للماء.

# ٣-عرض الوحدة النمطية

## السمنت البورتلندي Portland Cement

**السمنت البورتلاندي :** هو المادة التي تمتلك خواص تماسكية (Cohesive) وتراصفية (Adhesive) بوجود الماء ، وهذه الخواص تجعله قادرا على ربط الاجزاء المعدنية مع بعضها البعض وتحوله الى وحدة كاملة متراصفة ، وله خاصية التجمد (Setting) و التصلب (Hardening) بفعل التفاعلات الكيمائية ووجود الماء ، لذلك يعرف بالاسمنت المائي الهيدروليكي (Hydraulic Cement)

### المواد الأولية الداخلة في صناعة السمنت البورتلاندي

1 ـ حجر الكلس : وهذا يجب ان يكون من النوع الكلسي(Calcitic Limestone) والذي يحوي على نسبة عالية جدا من$CaCO_3$ في حدود95 % او اكثر وتكون نسبة$MgCO_3$ منخفضة بحيث لاتتعدى نسبة$MgO$ في السمنت المنتج5 % أي أن حجر الكلس الدولوميني لايصلح لصناعة السمنت
كذلك فأن نسبة($SO_3$) في هذا الحجر يجب أن تكون منخفضة حتى لاتتعدى نسبتها الكلية في السمنت الحدود العليا لاحقا لأنواع السمنت المختلفة .

2 ـ الطين : وهذا يجب أن يتكون بشكل رئيسي من السليكا($SiO_2$) والاولومينا($Al_2O_3$) والماء،وأيضا يجب أن تكون فيه نسبة$MgO$و$SO_3$ منخفضة بحيث لاتتعدى نسبتها الكلية في السمنت الحدود العليا المسموحة .

3 ـ الجبس وهذا يضاف في مرحلة طحن السمنت ويتكون عادة$CaSO_4.2H_2O$ وتحدد نسبته بحيث لاتتعدى$SO_3$ في السمنت الحدود العليا المسموحة وكذلك يجب أن لايحتوي على مواد ضارة مثل$MgO$.
ان الغاية من اضافة الجبس هو تحقيق مايلي:ـ

1ـ تحسين كفاءة الطحن حيث اننا نحتاج الى عدد دورات اقل للطاحونة في حالة اضافة الجبس للحصول على نعومة معينة.

2ـ تنظيم اماهة السمنت( زيادة زمن التماسك ومنع التماسك المفاجىء).

## صناعة السمنت البورتلاندي: Manafacture of Portland Cement

يصنع السمنت من خلط مواد كلسية (alcareous Materials) مثل الحجر الجيري ( lime stone) او الطباشير (Chalk) مع مواد طينية (clay material) مثل Shale او الطين (Clay) بنسبة ثلثين : ثلث .

هناك طريقتين رئيسيتين لصناعة السمنت هما :

1. الطريقة الرطبة wet process : يتم الطمر و المزج للمواد الاولية بوجود الماء .
2. الطريقة الجافة wet method : يتم الطمر و المزج للمواد الاولية بحالتها الجافة .

### الطريقة الرطبة wet method :

يكسر حجر الكلس ويفتت في الماء داخل طاحونة غسل wash mill واما الطين فيهشم ايضا ويمزج مع الماء داخل طاحونة مشابهة للاولى وبعد ذلك يفتح مطحون المواد الاولية ويمزج بنسبة معينة ثم يمرر الخليط خلال غرابيل (sieves) ذات فتحات بحدود (900 micron) فنحصل عل ملاط رقيق القوام (slurry) يخزن في خزانات خاصة تسمى خزانات الملاط slurry tanks .

الملاط : هو عبارة عن عجينة رخوة القوام تحتوي على 35–50% ماء و 2% من الدقائق التي هي اكبر من المنخل القياسي رقم 170 حسب المواصفات البريطانية وتستعمل عملية الخلط الميكانيكية او يضخ هواء مضغوط من اسفل الخزانات وذلك لمنع ترسيب دقائق المواد الصلبة العالقة به و ابقائه بشكل متجانس.

ثم يمرر الملاط من اعلى الفرن الدوار rotary kiln بقطر 5م و طول 150م تقريبا ويضخ الوقود و الهواء من النهاية السفلى للفرن . عند حركة الملاط نحو الاسفل تزداد حرارته وعن طريق السيطرة على درجة الحرارة وسرعة الدوران للفرن يتم اعطاء الوقت الكافي لتفاعل المواد الاولية مع بعضها حيث تتكون مركبات السمنت .

### التغيرات الحاصلة في الفرن هي :

1. يتبخر الماء الطين لغاية 155 ْم كما يفقد الطين الماء ؟؟؟ كيميائيا بحرارة 500 ْم .
2. تتحلل كاربونات المغنيسيوم بدرجة حرارة حوالي 600

3. تتحلل كاربونات الكالسيوم بحدود 900 ْم
4. عند درجة حرارة 900 ْم يبدأ التفاعل بين النورة والمركبات الطينية .
5. يبدأ تكون سائل الانصهار بحدود 1250 ْم ويقدر بحوالي 20–30% من المادة الجافة من الخليط .

تتحول بعد ذلك الكتلة السائلة الى اشباه كرات يتراوح قطرها بين (25–30)ملم وتدعى الكلنكر الذي يبرد بواسطة الهواء الذي يستعمل بعد ذلك في تسخين الفرن . يطحن الكلنكر مع نسبة من الجبس ($CaSo_4 . 2H_2O$) بحدود 3–4% لنحصل على اسمنت بواسطة طاحونة الكرة .

## الطريقة الجافة Dry Method

تسحق المواد الطينية و الكلسية وغذى المواد الاصلية بالنسب المطلوبة في طاحونة حيث يجفف وتسحق الى مسحوق ناعم يسمى (دقيق الخامraw meal) بعدها يضخ السحوق الناعم الى سايلو الخلط (Blending Silo) حيث تعدل نسبة المواد بصورة نهائية ليتم الحصول على نسب المواد المعدلة المطلوبة لغرض الحصول على خليط متجانس تخلط المواد بواسطة الهواء المضغوط وتنخل بعد ذلك وتغذى في وعاء دوار (**Rotating Dish**) ويضاف اليها الماء بنسبة 12% من وزن المواد حيث تتكون كرات صغيرة قطرها حوالي **mm**15 ، هذه العملية ضرورية لان اضافة المواد على شكل مسحوق جاف ناعم يمنع جريان الهواء داخل الفرن . ثم تسخن بواسطة هواء حار لغرض تجفيفها

ثم تغذى من اعلى الفرن الدوار وتجري عليها بعد ذلك نفس التغيرات كما في الطريقة الرطبة

ان سبب عدم شيوع هذه الطريقة هي صعوبة السيطرة على نسب الخلط

| | | |
|---|---|---|
| مواد اولية | **1450 Kg** | **907 cement** |
| | **1.6 ton** | **1 ton cement** |

ان اختيار أي من الطريقتين يعتمد على طبيعة المواد الاولية المستعملة فالطريقة الرطبة نسنعمل عندما تكون نسبة الرطوبة في الخامات عالية . اما الجافة فتستعمل عندما تكون المواد الخام صلدة لدرجة انها لا تتفتت بالماء او تستعمل في البلدان الباردة خوفا من تجمد الماء في الخليط وكذلك في حالة شحة المياه اللازمة لعملية الخلط .

## مقارنة بين الطريقة الرطبة والطريقة الجافة

| wet process | Dry process |
|---|---|

| | |
|---|---|
| 1. محتوى الماء 35–50% (حجم التوازن لكنه اكبر) | 1. محتوى الماء 12% (حجم التوازن اصغر) |
| 2. تحتاج طاقة اكبر لازالة الرطوبة | 2. تحتاج طاقة اقل |
| 3. غير اقتصادية | 3. اقتصادية |
| 4. سيطرة تامة على طريقة الخلط فتحصل على خليط متجانس | 4. صعوبة السيطرة |
| 5. صيانة اقل للاجهزة | 5. تحتاج المكائن والمعدات الى صيانة وادامة اكثر . |

منظر عام لمصنع اسمنت

## التركيب الكيميائي للسمنت البورتلاندي :

ان المواد الاولية المستعملة في صناعة السمنت البورتلاندي تتكون بصورة رئيسية من الجير (Lime) Cao والسليكا $SIO_2$ والالمونيا $AL_2O_3$ واوكسيد الحديد $FE_2O_3$ هذه المركبات تتفاعل مع بعضها داخل الفرن وتكون مركبات اكثر تعقيداً وكمية قليلة من جير غير متحد بسبب عدم توفر الوقت الكافي

لاتحاده مع باقي المركبات وتستمر التفاعلات الكيميائية حتى الوصول الى حالة التوازن الكيميائي ونتيجة لذلك فان ناتج الحرق ( الكلنكر ) يحتوي على اربعة مركبات رئيسية هي:

. $C_4AF$ , $C_3A$ , $C_2S$ , $C_3S$ ,

- ويتغير نسب المواد المحلية تتغير نسب مركبات السمنت حيث عند زيادة CaO تزداد نسبة $C_3S$ على حساب$C_2S$ وعند زيادة $SiO_2$ تؤدي الى زيادة نسبة $C_2S$ على حساب $C_3S$ وتعتمد نسبة $C_3A$ على نسب الالومينا $AL_2O_3$ وعند زيادة نسبة الحديد فتزداد $C_4AF$ على حساب $C_3A$ .
- يمكن احتساب نسب المركبات الأساسية للسمنت من معرفة نسب الاكاسيد باستخدام معادلات(Bogue) على النحو التالي :ـ

$C_3S = 4.07(CaO) - 7.60(SiO_2) - 6.72(Al_2O_3) - 1.43(Fe_2O_3) - 2.85(SO_3)$---------
----------eqe—1

$C_2S = 2.87(SiO_2) - 0.75(3CaO.SiO_2)$ ---------- eqe -------2

$C_3A = 2.65(Al_2O_3) - 1.69(Fe_2O_3)$ ----------eqe------3

$C_4AF = 3.04(Fe_2O_3)$ ----------eqe------4

ان هذه المعادلات تفترض الحرق الكامل للسمنت في الافران الدوارة والوصول الى درجة حرارة حوالي1450 درجة مئوية والتبريد السريع الذي لايسمح بأعادة تحول$C_3S$ الى$C_2S$ وعدم وجود نورة طليقة أو سليكا طليقة.

كما توجد طرق أخرى لاحتساب مركبات السمنت الاساسية من بينها طريقة تايلر وهي طريقة محورة من طريقة (Bogue). كما يمكن معرفة نسب المركبات الاساسية للسمنت بطرق اخرى اهمها:ـ

1 ـ طريقة حيود الاشعة السينية.

2 ـ طريقة التحليل التفاضلي الحراري(DTA)

3 ـ طريقة المجهر الالكتروني.

## خواص المركبات الرئيسية للسمنت

### 1. سليكات الكالسيوم الثلاثية$C_3S$

عبارة عن حبيبات صغيرة متساوية الابعاد عديمة اللون تتحلل ببطيء تحت درجة حرارة1250 درجة مئوية الى$C_2S$ و$CaO$

$C_3S$---------- $C_2S + CaO$

ولكن هذا التفاعل بطيء حيث يبقى$C_3S$ بنسبة كبيرة تحت درجة حرارة700 م ويبقى مستقرا في درجات الحرارة الاعتيادية.

وهناك عدة انواع من $C_3S$

1 ـ بلورات ثلاثية الميل

2 ـ بلورات احادية الميل

3 ـ ثلاثية التماثل

ان خواص هذا المركب مشابهة لخواص السمنت البورتلاندي حيث عند اضافة الماء يتفاعل بسرعة ويكون التماسك خلال ساعات قليلة(يتحول الى مادة جلاتينية في الساعات الاولى بعد اضافة الماء)

$$2C_3S \text{----------} \rightarrow C_3S_2H_3 + 3Ca(OH)_2 + Heat$$

الناتج الصلب يكتسب قوته خلال الاسبوع الاول وتبلغ قوته النهائية عشرات$N/mm^2$ وينتج عن التفاعل حرارة تبلغ500 جول( وهو المسؤول عن المقاومة المبكرة).

ويعتبر$C_3S$ من المواد المستقرة كيميائيا وفيزيائيا ولاتتغير هذه المركبات بتغير الحرارة او الرطوبة.

نسبة$C_3S$ عالية في السمنت بصورة عامة وتشكل اكثر من30 ــ50 % من وزن السمنت الاعتيادي

## 2. سليكات ثنائي الكالسيوم $C_2S$ Dicalcium silicate

ياخذ هذا المركب عدة اشكال من $C_2S$ يتكون في درجات الحرارة العالية ويتحول الى $Bc_2s$ في درجة حرارة 1456 ْ C ثم يتحول الى $C_2S$ في درجة حرارة 675ْC ولكن بمعدل السرعة التي يبرد بها السمنت العادي التجاري فان $Be_2S$ تحافظ على بعضها حيث تكون بشكل حبيبات مدورة تظهر اعتيادياً بصورة بلورات توأمية .

- هذا المركب سريع التفاعل بعد مضي 28 يوم حيث انه بطيء التفاعل جداً مع الماء خاص في الايام الاولى وبعد سنة واحدة يصل الى قوة مقاربة ل$C_2S$ .
- مشابهة للمركبات التي تنتج من تفاعل $C_3S$ وهي سليكات الكالسيوم المائية والنورة المطفأة .

الحرارة الناتجة من تفاعله مع الماء تبلغ 250 J / gm وسرعة انطلاقها بطيئة .

- تزداد نسبة $C_2S$ في السمنت . بزيادة $SiO_2$ في المواد الاولية وهي مكملة لنسبة $C_3S$ أي بزيادة $C_3S$ يقل $C_2S$ والعكس صحيح وتتراوح نسبة $C_2S$ في انواع السمنت بين 8%-40 .

3. الومنيات ثلاثي الكالسيوم $C_3A$ Tricalcium Aluminate

يكون بشكل بلورات مستطيلة الشكل ويوجد ايضاً بشكل غير متبلور في الزجاج المتجمد $Fro_3en$ glass . وهو سريع التفاعل جداً مع الماء فيعتقد اسرع مركبات السمنت جميعاً لذلك يضاف الجبس الى السمنت اضافة الحصى لتقليل سرعة تفاعل $C_3A$ مع الماء لانه بدون اضفه الجبس يحدث التماسك السريع Flash orquiclrsething .

يتفاعل مع الماء ينتج عدد من المركبات الغير مستقرة بصورة خاصة وتتحول من شكل الى اخر يتغير الحرارة والرطوبة وهذا التحول يكون مصحوباً بتغير في حجم المركبات مما يؤدي الى اضعاف الترابط بينهما وبالتالي الى نقصان في قوة تحمل السمنت.

كمية الحرارة الناتجة من تفاعله عالي جداً وتبلغ 850J/gm وسرعة انطلاقها عالية وخاصة في الايام الاولى .

تتراوح نسبة $C_3A$ في السمنت بين 0-15% وتعتمد على نسبة $AL_2O_3$ و $FE_2O_3$ اما في السمنت الاعتيادي فتكون 7-15% .

3. الومينيات حديد رباعي الكالسيوم $C_4AF$

Tetra calcium Alumine Ferrite

عبارة عن محلول جامد solid state يتراوح تركيبه الكيميائي بين $C_2F$ و$C_6A_2F$ والصيغة العامة $C_4AF$ سريعة التفاعل مع الماء لكنه ابطأ من $C_3A$ ، الحرارة الناتجة من تفاعله 420 J/gm .

المواد الناتجة من تفاعله مع الماء تكون مستقرة مثل مركبات السليكا وتكون اكثر استقراراً من مركبات $C_3A$ ، بتأثيره على تحلل السمنت قليل بنسبة هذا المركب في السمنت تعتمد على $Fe_2O_3$ في المواد الاولية وتتراوح بين 5-15% وهذا المركب يعطي اللون الرمادي للسمنت ونسبته في السمنت الاعتيادي 5-15% في المواد الاولية ليست عالية بحيث نسبة ظهور جيد ضمن بعد حصول التوازن الكيمياوي لان الجير الحر يسبب عدم ثبات حجم السمنت unsoundness

## مركبات السمنت الثانوية :

1. اوكسيد المغنسيوم الكلي Free Mgo (magnesia)

2. المصدر الرئيسي للمغنسيوم هو حجر الكلس والذي يكون ينوعين الكالسيات والدلوماين والاول يحتوي على نسبة عالية من $Caco_3$ اما الثاني يحتوي على نسبة اقل من$Caco_3$ وعلى نسبة عالية من $MgCo_3$ وطبقة حجر الكلس الصالح لصناعة السمنت هو من النوع الاول Calcite .

لقد حددت المواصفات المختلفة نسبة MgO في السمنت ب 4% كحد اعلى مع ان ضرر وجود MgO بنسبة عالية في السمنت يمرر الى تفاعله مع الماء مكوناً $Mg(OH)_2$ وهذا التفاعل يصاحبه بزيادة حجمية تؤثر سلبياً على السمنت . حيث تسبب هذه الزيادات في الحجم اجراءات عالية داخل عجينة السمنت وقد تؤدي الى تشققات وتتلف الخرسانة .

- تكون المغنيسيا في السمنت إما بشكل بلورات او بشكل غير متبلور في المحلول الصلد الكلنكر solid Solution (بشكل زجاج ) وقد وجدت التجارب ان البايركس فقط هو الذي يسبب عدم ثبات السمنت unsoundness وان تاثير البايركس يعتمد على حجم بلورات MgO فكلما كان حجمها اقل تاثيرها السلبي اقل لانها تتفاعل بسرعة مع الماء وبذلك تكون الإجراءات المتكونة نتيجة الزيادة الحجمية قليلة لان صلابة السمنت مازالت واطئة وبلورات تكون صغيرة عندما تكون سرعة تبريد الكلنكر عالية .

### 3. السليكا الغير متحدة Free silica $sio_2$

مصدرها الطين الذي يشكل احد المواد الاولية في صناعة السمنت ومعظم السليكا الموجودة في السمنت تكون متحدة مع الجير (lime) مكونة سليكات الكالسيوم عدا قسم قليل منها يبقى بشكل طليق وهو يعتبر مؤشر عن مدى اكتمال التفاعلات الكيميائية داخل الفرن . ويطلق عليه الخلفات الغير ذائبة (I.R) فهي عبارة عن السليكات الغير متفاعلة وتقاس كميتها باذابة السمنت في حامضي ( Hcl) الهيدروكلوريك فالجزء لايذوب في الحامض هو السيل الغير متفاعلة .

حددت المواصفات الامريكية ASTM نسبة السليكا الحرة بـ 0.75% كحد اعلى اما المواصفات العراقية والبريطانية فحددتها بـ 1.5% كحد اقصى لكافة انواع السمنت .

### 4. ثالث اوكسيد الكبريت : Sulpher Trioxide

مصدره الرئيسي هو الجبس المضاف الى السمنت اثناء الطحن من المواد الاولية ومن وقود الحرق وتحدد المواصفات نسبة $So_3$ في السمنت ب 3%-5-2 من وزن السمنت وحسب نوعيته فالمواصفة العراقية رقم (5) لسنة 1984 والمواصفة البريطانية (12) حددت $So_3$ بالاعتماد على نسبة $C_3A$

ان تأثير $So_3$ في السمنت يكون اعلى واكثر انية من تأثير $So_3$ الموجود في الرمل او الحصى . ففي حالة زيادة نسبة $So_3$ في السمنت تحدث تفاعلات بين الكبريتات و $C_3A$ والامونيات للسمنت مكونة سلفو الومينات الكالسيوم ( اترنكايت) ettringite والذي يحتوي على (31) جزيئة ماء وتتحول الخرسانة الى مادة اقل كثافة واكثر مسامية ويسهل دخول الماء وغاز ثنائي اوكسيد الكاربون ($CO_2$) الى حديد التسليح وتعمل على اكسدته وتتمدد الخرسانة وتحدث التشققات اما اذا كانت نسبة $SO_3$ ضمن المواصفات فان هذا التفاعل يحدث في حالة كون الخرسانة طريقة أي في بداية عملية الانجماد فلا يؤثر التمدد على الخرسانة بل بالعكس يقلل من نسبة الانكماش وهناك بنسبة مثلى لـ $So_3$ في السمنت في حالة زيادتها تسبب التمدد وفي حالة نقصانها تسبب الانكماش وهذه النسبة هي بين 3-3.5%.

5. الماء $H_2O$ :

مصدره الرئيسي هو الجبس لانه يكون 21% من وزن الجبس ويفقد الجبس قسم من الماء اثناء عملية الطحن ويتحول الى مسحوق باريت بحرارة تتراوح بين 130-170%

وقسم من هذا الماء المتمرر يمتد مع CaO مكونا $Ca(OH)_2$ الكبيرة الحجم ومصدره الثاني هو بخار الماء الموجود في الجو والذي يتمد اثناء خزن السمنت حيث انه يتسبب في بدء التفاعل لمركبات السمنت وهذا يعني تلف السمنت ويستدل على ذلك من فحص الفقدان اثناء الايقاد وهو عبارة عن الفقدان في وزن التموذج عند التسخين الى درجة الحرارة الحمراء او الى 1000مْ وهو يعبر عن مقدار الكرينه وعن عملية الاواصر التي تحدث للجير الحر والمغيسيا الحرة بسبب خزن السمنت لفترة طويلة او لتعرضه لظروف جويه وان جزء صغير من الفقدان اثناء الايقاد ناتج عن فقدان الماء الداخل في تركيب الجبس .

وقد حددت المواصفة البريطانية L.O.I 3% للمناخ المعتدل في المناخ الاستوائي 4% or اما المواصفة العراقية فتحدد كحد اقصى L.OI=4%

## انواع الاسمنت Type Of Cement

ك أنواع عديدة منها :ـ

- الاسمنت الطبيعي Natural Cement
- الاسمنت البورتلاندي Portland Cement
- الاسمنت التمددي Expanding Cement

- الاسمنت الالومينى Aluminous Cement
- الاسمنت الفائق المقاومة للكبريتات Super- sulfated Cement

يجة للمقاومة السريعة والمميزات الأخرى التي يتميز بها الاسمنت البورتلاندي فقد أصبح استخدامه واسع جدا . وسين
كيز على أنواعه.

## Types of Portland Cement أنواع الاسمنت البورتلاندي

- الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي (OPC) TYPE I

يعتبر اكثر انواع الاسمنت استعمالا في المنشئات الغير معرضة للكبريتات كالتربة والمياة الجوفية وحسب المواصفات البريطانية يوجد تحديد لمعامل الاشباع الجيري( lime saturatin factor )

L.S.F وذلك لان الجير الحر CaO يسبب عدم ثبات الاسمنت اما المواصفة الامركية فلا تحدد نسبة الجير بالرغم من انه لايتعدى 0.5% .

الاقواس تمثل النسبة المئوية بالوزن للمركب المحدد الموجود في الاسمنت

$$L.S.F = \frac{0.7(SO_3)-(CaO)}{(Fe_2O_3)0.6+(Al_2O_3)1.2+(SiO_2)2.8}$$

$$L.S.F = (0.66-1.02)$$

- الاسمنت البورتلاندي السريع التصلب (RHPC) TYPE111

يشبه النوع الاول إلا أن مقاومته تنمو وتتطور بسرعة بسبب المحتوى العالي لـ $C_3S$ والذي يشكل 70% من مجموع نسب المركبات وبسبب النعومة العالية والتي تكون $350m^2/Kg$ كحد أدنى.

ويستخدم هذا النوع عندما يتطلب الامر مقاومة مبكرة كافية للمباشرة بالتشييد التالي بشكل سريع ولا يفضل استخدامه في الكتل الخرسانية الضخمة كالسدود بسبب الحرارة العالية للاماهة التي تسبب تلف الكونكريت وتشققه ويفضل استخدامه في الأجواء الباردة.

ومن أنواعه الخاصة الاسمنت البورتلاندي السريع التصلب الخاص والذي يسمى ذو المقاومة المبكرة والفوق الاعتيادية وان سبب المقاومة المبكرة العالية هو النعومة العالية جدا والتي تتراوح بين (400-

700)$m^2$/Kg ويستخدم هذا النوع الخاص في المنشئات الكونكريتية المسبقة الجهد وفي التصليحات المستعجلة لمدرج الطائرات أثناء الحروب.

- الاسمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة TYPE IV (LHPC)

يستخدم في الكتل الكونكريتية الضخمة كالسدود بسبب قلة نسب المركبين $C_3S$,$C_3A$ لأنها أكثر مركبين يولدان الحرارة.

المقاومة المبكرة تكون قليلة أما المقاومة النهائية فتكون عالية.

حرارة الاماهة لهذا النوع حسب المواصفات البريطانية(1974 -1971 B.S )

250 جول\غم بعمر 7 يوم و293 جول\غم بعمر28 يوم.

وحرارة الاماهة هي كمية الحرارة(المقاسة بـ الجول\غم من الاسمنت) المنبعثة من اماهة كاملة بدرجة حرارة معينة.ودرجة الحرارة التي تحصل عند الاماهة تؤثربشدة على معدل سرعة النمو الحراري وبالتالي المقاومة. في الحالات الاعتيادية فان نصف الحرارة الكلية تتولد بين يوم إلى ثلاثة أيام وثلاثة أرباعها في سبعة أيام وتقريبا90% منها خلال ستة أشهر. ويمكن تقليل حرارة الاماهة بتقليل $C_3S$,$C_3A$بشكل رئيسي.

- الاسمنت المعدل TYPE11

يستخدم في المنشئات التي يفضل أن تكون الحرارة المنبعثة منها قليلة أو عندما يكون هجوم أملاح الكبريتات معتدل.

يتكون هذا الاسمنت من 60% اسمنت بورتلاندي منخفض الحرارة مع 40% اسمنت بورتلاندي اعتيادي.

يكون معدل سرعة اكتساب المقاومة مماثل للاسمنت البورتلاندي الاعتيادي. ويستخدم هذا النوع بكثرة في الولايات المتحدة الامريكية.

- الاسمنت المقاوم للكبريتات TYPE V (SRPC)

يمتاز هذا النوع بقلة المركب $C_3A$ لأنه أكثر المركبات تفاعلا مع الكبريتات التي تأتي من والنتيجة زيادة في الحجم وبالتالي تلف وتشقق الخرسانة.

من أهم الأملاح الفعالة كبريتات المغنسيوم$MgSO_4$ وكبريتات الصوديوم$Na_2SO_4$. حسب المواصفة البريطانية 1966 : 4027 B.S تحدد نسبة $C_3A$ بـ 3.5% مع نعومة250$m^2$/Kg وحسب المواصفة الامريكية نحدد نسبة$C_3A$ بـ 5%

.(ASTM C150- 78a)

- الاسمنت البورتلاندي ـ خبث الافران العالية TYPE IS

يصنع هذاالنوع من طحن الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي مع حبيبات خبث الافران العالية والخبث عبارة المواصفة الامريكية واقل من60% حسب المواصفة البريطانية. يستخدم في الكتل الكونكريتية الضخمة بسبب توليده حرارة منخفضة كما ويستخدم في المنشئات البحرية لأنه مقاوم جيد للكبريتات.

من أنواعه الخاصة اسمنت الخبث ذو المقاومة العالية للكبريتات ومكوناته(85-80)%

حبيبات الخبث و(15-10)%كبريتات الخبث و5% كلنكر. النعومة 400-500 $m^2/Kg$ .

من فوائده المقاومة العالية لماء البحروهجوم الكبريتات وكذلك للزيت والحوامض كما أن حرارة الاماهة تكون واطئه ويجب خزن هذا النوع من الاسمنت تحت ظروف جافة لأنه يتلف بسرعة.

- الاسمنت البورتلاندي البوزولاني TYPE IP

يصنع هذا النوع بطحن أو مزج البوزولانه مع الاسمنت البورتلاندي.والبوزولانه مادة سليكية أوسليكية الومينية ليس لها خواص إسمنتية ولكن بوجود الرطوبة تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم$Ca(OH)_2$ وناتج التفاعل هوC-S-H وهذا ناتج شبيه بصورة كبيرة للمركب الأصلي المسؤول عن مقاومة عجينة الاسمنت. من أنواع البوزولانه رماد مسحوق الفحم PFA ،رماد قشور الرزRHA وأبخرة السيليكاSF .

- الاسمنت البورتلاندي( الأبيض ـ الملون)

يستخدم هذا النوع للأعمال المعمارية وأعمال المعمارية وأعمال الإنهاء. غالي الثمن وتبلغ كلفته الصناعية ضعف كلفة الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي وذلك لان طحن الكلنكر يحتاج إلى إجراءات خاصة بسبب غياب اوكسيد الحديد الذي يسلك كعامل مساعد للصهر. المواد الداخلة في تركيبه الطين الأبيض،الحجر الجيري الطباشيري والحجر الجيري والتي تخلو من المواد غير النقية التي تسبب التبقع.

وزنه النوعي اقل بقليل من الوزن النوعي للاسمنت البورتلاندي الاعتيادي ويتراوح بين

(3.05-3.15).يمكن الحصول على الاسمنت الملون بإضافة الأصباغ حسب الرغبة.

- هنالك أنواع من الاسمنت البورتلاندي ومنها :ـ

ـــ الاسمنت البورتلاندي المقاوم للبكتريا Anti-bacterial Portland Cement

ـــ الاسمنت البورتلاندي الغير مألوف للماء Hydrophobic Portland Cement

ـــ الاسمنت البورتلاندي المانع لنفاذ الماء Water- Proofing Portland Cement

أملأ الفراغات التالية بما يناسبها:

1.الفقدان اثناء الايقاد هو الفقدان في وزن النموذج بعد التسخين الى درجة ـــ ـ

2.تحصل ظاهرة الانجماد الفجائي للاسمنت بزيادة المركب ـ ـ ـ ـ ـ ـ ونقصان اضافة ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

3.يمكن التعبير عن الاماهة الكلية للمركب$C_3S$ بالمعادلة التالية ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

4.يتفاعل المركب$C_3A$ في السمنت مع الجبس مكونا ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

5.الاسمنت المعدل هو وسط بين الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي و ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

6.تحدد المواصفات القياسية معامل الاشباع الجيري للاسمنت الاعتيادي بمقدار ـ ـ ـ ـ ـ ـ. كحد اعلى و ـ ـ ـ ـ ـ ـ.كحد ادنى.

7.تعتمد حرارة الاماهة للاسمنت على ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

8. يصنع الاسمنت خبث الافران العالية من طحن الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي و ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

9.يحتوي حجر الكلس من نوع مغنايت الداخل في صناعة الاسمنت على نسبة عالي من ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

10.يمكن تقليل سرعة توليد الحرارة في الاوقات المبكرة بتقليل نسب المركبات ـ ـ ـ ـ ـ ـ.

# الوحدة النمطية الثالثة

# الاسبوع 6

الانواع الاخرى للسمنت(الاسمنت الطبيعي،الاسمنت التمددي،
الاسمنت الالومينى ومواصفات كل نوع)

## الاختبار القبلي

**أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :**

1. يستخدم الاسمنت البورتلاندي المنخفض الحرارة في الخرسانة الكتلية وخاصة خرسانة السدود.
2. يفضل استخدام الطريقة الرطبة في صناعة الاسمنت في حالة ارتفاع اسعار الوقود.

3.تزداد نسبة المركب $C_3S$ في الاسمنت بزيادة نسبة $SiO_2$ في المواد الاولية.

4.وجود السيليكا بشكل طليق يعتبر مؤشر لاكتمال تفاعل الاسمنت داخل الفرن.

5.يتعبر المركب $C_3A$ المسؤول عن زيادة وتقدم المقاومة مع الزمن.

# أهـــــــــــــداف الوحـــــــــــــدة

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على أن :-**

**1ـ يحدد خصائص ومواصفات وتركيب الأسمنت الطبيعي**

**2ـ يحدد خصائص ومواصفات وتركيب الأسمنت التمددي**

**3ـ يحدد خصائص ومواصفات وتركيب الأسمنت الألومينـي**

## الأسمنت الطبيعي

يصنع الأسمنت الطبيعي بتكليس أحجار الأسمنت الطبيعية المتكونة من الحجر الجيري الطيني الحاوي على نسب كافية من الألومينا والسليكا. ويقصد بعملية تكليس هذه الأحجار ، معالجتها بالحرارة التي تكون أقل من درجات الحرارة اللازمة لإنتاج الكلنكر مما يؤدي إلى قلة محتوى المركب $C_3S$ في هذا النوع من الأسمنت وبذلك سيكون تصلبه بطيئاً .

هناك إختلافات كبيرة في خواص الأسمنت الطبيعي المنتج في المناطق المختلفة وذلك بسبب الإختلافات الكبيرة في المواد الخام الداخلة في تركيبه. في الأونة الأخيرة أصبح إستعماله قليل جداً.

## الأسمنت التمددي

من المعروف عن خرسانة الأسمنت البورتلاندي إنها تعاني إنكماشاً أثناء الجفاف، وهذا الإنكماش يسبب تشقق الكتلة الخرسانية إذا كانت مقيدة الحركة. لذا صنع الأسمنت التمددي حيث ينتج عن إستعمال هذا النوع من الأسمنت تمدد يفيد في الفترات المبكرة وزيادة حجم عجينة الأسمنت بدون تلف هيكلها.

يتكون هذا الأسمنت من خليط من الأسمنت البورتلاندي ، عامل تمددي ومادة مثبتة ويتم الحصول على العامل التمددي من حرق خليط من الجبس ، البوكسايت والحجر الجيري الطباشيري إذ تتكون كبريتات الكالسيوم والومينات الكالسيوم وبوجود الماء تتفاعل هذه المركبات لتكوين سلفو الومينات الكالسيوم المائية ( الأترنكايت ) حيث يرافقها تمدد عجينة الأسمنت . ويستعمل عادةً خبث الأفران العالية كمادة مثبتة إذ تقوم بإستهلاك كبريتات الكالسيوم الفائضة موصلة التمدد إلى نهايته.

## الأسمنت الألومينى

يصنع الأسمنت الألومينى أو الأسمنت عالي الألومينا من صهر الحجر الجيري أو الحجر الجيري الطباشيري والبوكسايت إلى درجة السيولة ثم يطحن كلنكر الأسمنت الألومينى ذو اللون الرمادي الداكن إلى أن تصل نعومته بين 2250-3200 سم$^2$/غم . يختلف تركيب هذا الأسمنت عن الأسمنت البورتلاندي بإحتوائه على نسبة عالية من الألومينا وعلى نسبة من الجير والسليكا أقل من تلك الموجودة في الأسمنت البورتلاندي.

ينتج هذا النوع من الأسمنت بسبب مقاومته لتأثير الكبريتات وهذه المقاومة العالية ناتجة عن عدم وجود هيدروكسيد الكالسيوم في الأسمنت الألومينى المتميأ وكذلك إنه لا يهاجم من قبل $CO_2$ الموجود في الماء الصافي وبذلك يكون صالح للأستعمال في صناعة الأنابيب.

من المميزات الواضحة الآخرى للأسمنت الألومينى إنه يحصل على حوالي 80% من مقاومته النهائية بعمر 24 ساعة في حين يحصل الأسمنت البورتلاندي على معظم مقاومته بعمر 28 يوم،

# الاختبار البعدي

أملأ الفراغات التالية بما يناسبها:

1. تكليس الأحجار يعني ---------- .
2. المقاومة النهائية للأسمنت الألوميني ---------- من المقاومة النهائية للأسمنت البورتلاندي الأعتيادي .
3. ينتج عن إستعمال الأسمنت ---------- تمدد يفيد في الفترات المبكرة وزيادة حجم عجينة الأسمنت بدون تلف هيكلها.

# الوحدة النمطية الرابعة

# الاسبوع 7- 10

خواص الاسمنت

(النعومة ،فقدان الوزن بالأحتراق،ثبات السمنت ،حرارة الاماهة،
وقت التماسك الأبتدائي والنهائي، قوة التحمل الانضغاطية
،مقاومة الشد.)

## الاختبار القبلي (Pre – Test):

**أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :**

1.يكون تصلب الاسمنت الطبيعي سريعا بسبب زيادة المركب$C_3S$ في محتواه.

2.يسخدم الاسمنت عالي الالومينا في الاجواء الباردة والخرسانات المعرضة لماء البحر والكبريتات.

3.في الاسمنت التمددي يستعمل البوكسايت كمادة مثبتة.

## اهداف الوحدة

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على :-**

1.معرفة نعومة السمنت ومحاسنها ومساوئها وطرق قياسها.

2.معرفة تأثير النعومة على خواص الخرسانة.

3.معرفة معنى ثبات الاسمنت وماهي اسباب عدم ثبات الاسمنت.

4.معرفة معنى فقدان الوزن بالاحتراق وكيفية حسابه.

5.معرفة انواع الاسمنت حسب حرارة الاماهة.

6.معرفة زمن التماسك الابتدائي والنهائي ومقارنتهما بالمواصفات القياسية.

7.معرفة قوة التحمل الانضغاطية للاسمنت.

8. معرفة مقاومة الشد للاسمنت.

# عرض الوحدة النمطية

## نعومة الاسمنت

بما أن عملية الإماهة تبدأ بسطوح حبيبات الأسمنت فالمساحة السطحية الكلية للحبيبات تمثل المادة المتوفرة لعملية الإماهة. لذا فأن معدل سرعة الإماهة يعتمد على نعومة حبيبات الأسمنت وتكون النعومة العالية ضرورية لزيادة سرعة الحصول على المقاومة، إضافةً إلى إن المسحوق الناعم يتمكن من تغطية سطوح حبيبات الركام الناعم بصورة متكاملة أكثر من المسحوق الخشن وبذلك يكون التلاصق والتماسك بين مكونات الملاط الأسمنتي أفضل. كما وأن النعومة العالية للأسمنت تحسن قابلية تشغيل الخلطة الخرسانية وتزيد من تماسكها ولكنها تجعل كمية الماء اللازمة للحصول على عجينة ذات قوام قياسي أكبر.

## الفقدان بالحرق Loss on ignition (L.O.I)

هو الفقدان في وزن نموذج من الأسمنت بعد التسخين إلى درجة الحرارة الحمراء أو إلى 1000 م° وهو تعبير عن مدى كربنة واماهة الجير الحرCaO والمغنيسيا الحرةMgO، تحدد المواصفة البريطانية B.S.12:1971 الفقدان أثناء الإيقاد 3% في المناخ المعتدل و 4% في المناخ الإستوائي اما المواصفة القياسية العراقية رقم 5 فتحدد مقدار الفقدان أثناء الإيقاد 4% كحد أقصى للأسمنت البورتلاندي الإعتيادي وسريع التصلب وفي حالة إزدياد القيمة عن حدود المواصفة فيعني ذلك أن الأسمنت تميأ مسبقاً نتيجة الخزن الرديء أو الخزن لمدة طويلة من الزمن.

## ثبات السمنت Soundness of Cement

من الضروري أن لا يحصل تغير حجمي كبير في عجينة الأسمنت بعد تجمدها وخصوصاً التمدد الذي يؤدي إلى تمزق عجينة الأسمنت المتصلبة عندما تكون تحت ظروف مقيدة.

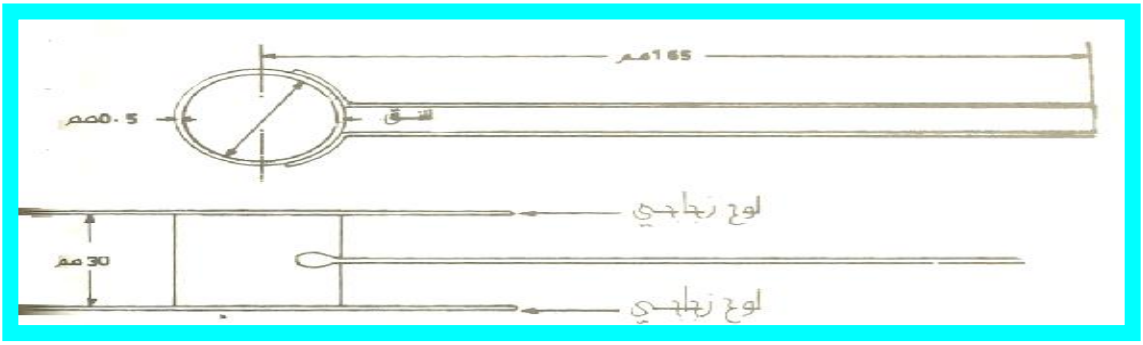
في حالة كون المواد الداخلة في صناعة الأسمنت حاوية على جير اكثر من الذي مع الأكاسيد الحامضية فأن الكمية الفائضة تبقى بحالة حرة وتحترق بشدة في داخل الفرن. وهذا الجير المحروق يتميأ بصورة بطيئة جداً، وبما إن الجير المطفأ يشغل حجماً أكبر من الحجم الأصلي لأوكسيد الكالسيوم الحر فيحصل التمدد، علماً إن الجير الداخل في مكونات الأسمنت لا يسبب عدم ثبات حجمه لأنه يتميأ سريعاً قبل تجمد عجينة الأسمنت.

إن السبب الآخر الذي يسبب تمدد عجينة الأسمنت هو الجبس المضاف إلى الكلنكر قبل عملية الطحن لمنع التجمد الفجائي ولكن وجوده بكميات أكثر من تلك التي تتفاعل مع المركب $C_3A$ أثناء فترة التجمد فأن الجبس الفائض يتمدد بشك بطيء جداً ويسبب عدم الثبات لحجم عجينة الأسمنت.

وهناك سبب آخر لعدم ثبات حجم عجينة الأسمنت ألا وهو وجود المغنيسيا

الحرة والتي تكون بشكل متبلور وتتفاعل بطريقة مماثلة لتفاعل الجير الحر.

ولغرض فحص الثبات تستعمل طريقة ( Le-Chatelier) والموضح في الشكل أدناه:



تحدد المواصفة البريطانية B.S.12:1971 والمواصفة القياسية العراقية رقم 5 للأسمنت البورتلاندي العادي والسريع التصلب بأن لا يزيد تمدد الأسمنت عن 10 مم وفي حالة عدم مطابقة الأسمنت لهذه الشروط يعاد الفحص على الأسمنت بعد تهويته ونشره على شكل طبقة إرتفاعها بين 70-80 مم على سطح جاف وفي جو رطوبته النسبية بين 50-80% لمدة 7 أيام وتشترط المواصفات سابقة الذكر إلى أن لا يزيد التمدد عن 5 مم.

## المواد الغير قابلة للذوبان Insoluble residue (I.R)

وهي المواد التي لاتذوب في حامض الهيدروكلوريكHCl عند معاملة عينة من الاسمنت بهذا الحامض وهي مقياس لتلوث الاسمنت والسبب الرئيس لوجودها هو الشوائب الموجودة في الجبس وتحدد بـ 1.5% حسب المواصفة البريطانية

B.S part 12 :1978 و0.75% حسب المواصفة الامريكية ASTM C150-1989

## هيكل عجينة الاسمنت المتميأ Structure of hydrated cement paste

في أي عمر من أعمار الاماهة عجينة الاسمنت المتميأ تحتوي على :ـ

1ـ سليكات الكالسيوم المهدرجه C-S-H (جل الاسمنت)

2ـ هيدروكسيد الكالسيوم$Ca(OH)_2$

3ـ سلفو الومينات الكالسيوم( $C_4AH_8$, $C_3AH_6$ )

4ـ أسمنت غير متميأ(قد يكون موجودا أوغير موجود في الهيكل تبعا لكمية الماء المستخدمة

5ـ الفجوات الموجودة في عجينة الاسمنت وتشمل:ـ

- الفجوات خلال C-S-H (مسامات الجل) Gel voids

أـ سمك هذه الفجوات 18A تقريبا

ب تشغل 28% من الجل الصلب

ـ المسامات الشعرية(Capillary void ):ـ يمكن تعريفها بانها ذلك الجزء من الحجم الكلي الغير مملوء بنواتج الاماهة حيث ان نواتج عملية الاماهة تشغل اكثر من ضعف حجم الاسمنت الجاف وهذا يعني ان حجم المسامات الشعرية يقل بتقدم عملية الاماهة.

أ ـ مقاسها تقريبا 1.3 m

ب ـ متغيرة الشكل

ج ـ تشكل نظام عشوائي يتوزع داخل عجينة الاسمنت

د ـ شبيه بقنوات جريان الماء داخل عجينة الاسمنت

وتعتمد على:ـــ

نسبة الماء الى الاسمنت ودرجة الاماهة التي تتأثر بنوعية الاسمنت.

يمكن قطع المسامات الشعرية والتي هي السبب الرئيس في نفاذية عجينة الاسمنت من خلال:ـ

اولاـ استخدام نسبة ماء الى اسمنت مناسبة

ثانياـ المعالجة الرطبة للخرسانة

## أنواع الماء الموجود داخل هيكل عجينة الاسمنت المتميأ

1ـ الماء المتحد كيميائيا Compound water (الغير قابل للتبخر)

ـــ ويشكل جزءا من المركبات المتميهه

ـــ حجم الماء المتحد كيميائيا=23% من وزن الاسمنت الجاف

2ـ الماء القابل للتبخر ويشمل:ـ

أ ـ الماء الحرFree water ويوجد داخل المسامات الشعرية.

حجم الماء الحر يتغير حسب حجم المسامات الشعرية داخل هيكل عجينة الاسمنت المتميه.

ب ـ ماء الجل Gel water ويوجد داخل مسامات الجل.

حجم ماء الجل=28% من حجوم النواتج الصلبة للاماهة.

## حرارة الاماهة

من المعروف ان مركبات السمنت عندما تتفاعل مع الماء تنتج حرارة اي ان هذا التفاعل هو من نوعExothermal (باعث للحرارة) ومعدل الحرارة المنبعثة من السمنت تكون بحدود120 سعرة/غم.الا ان هذه المركبات تختلف فيما بينها من كمية الحرارة المنبعثة عند تفاعلها مع الماء حيث تكون الحرارة المنبعثة من تفاعل$C_3S$ و$C_3A$ اكبر من الحرارة المنبعثة من تفاعل$C_2S$ و$C_4AF$ وعلى النحو الآتي:-

| المركب | الحرارة المنبعثة سعرة/غم |
|---|---|
| $C_3S$ | 120 |
| $C_2S$ | 62 |
| $C_3A$ | 207 |
| $C_4AF$ | 100 |

وان الموصلية الحرارية للكونكريت واطئة نسبيا ولهذا السبب فان الاجزاء الداخلية من الخرسانة الكتلية تعاني من ارتفاع شديدفي درجات الحرارة.وفي نفس الوقت الاسطح الخارجية من الخرسانة الكتلية تفقد حرارتها مما قد يجعل الفرق الحراري بين الاسطح الخارجية وداخل الخرسانة عالي جدا مسببا حدوث تشققات في الخرسانة ولهذا السبب يستخدم السمنت واطىء الحرارة في هذا النوع من المنشات.

وتقاس حرارة الاماهة باستخدام جهاز خاص يسمىcalorimeter (مقياس السعرات).

## التجمد والتصلب للأسمنت

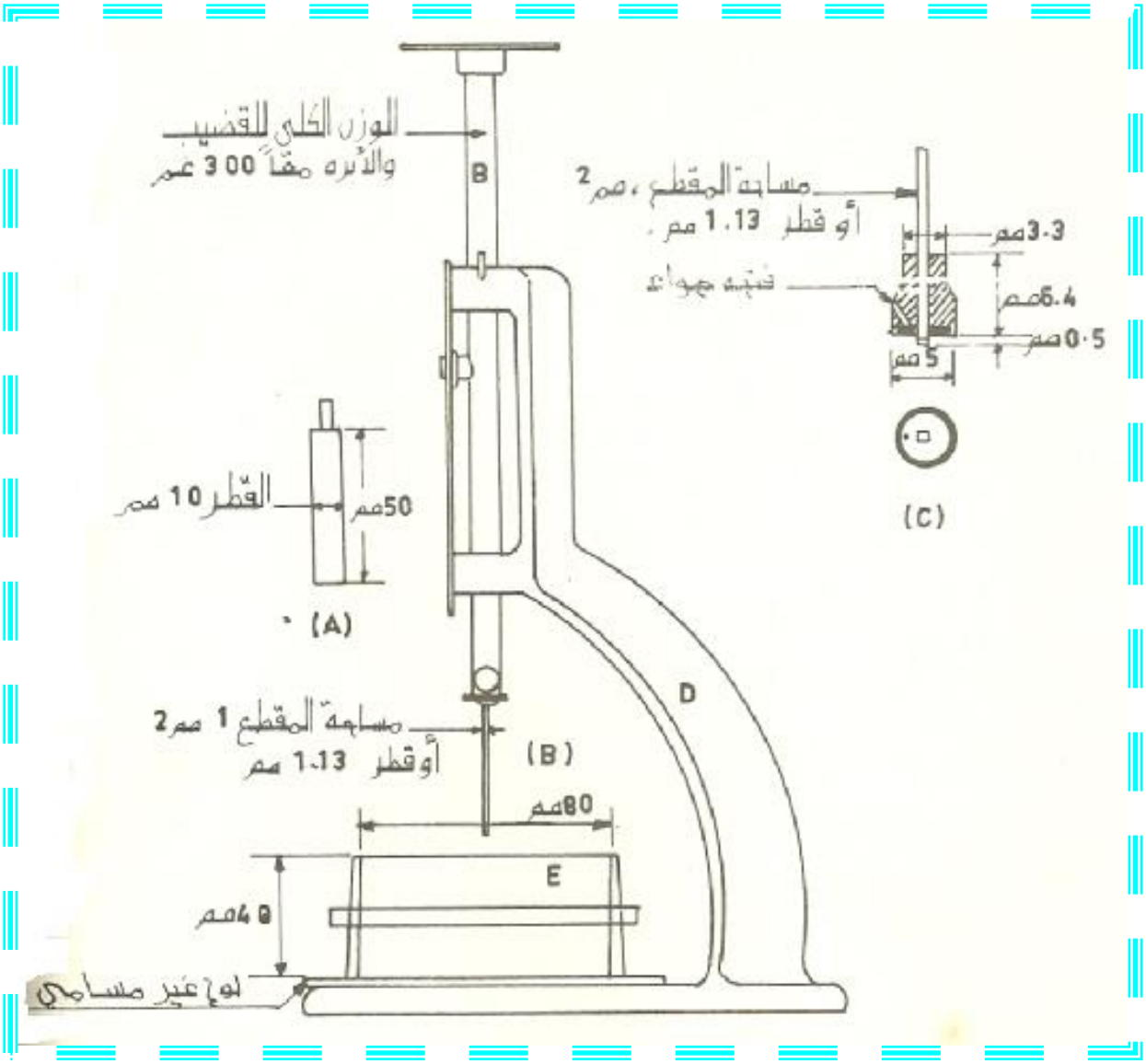
## Setting and Hardening of Cement

عند خلط الأسمنت بالماء تتكون عجينة الأسمنت، هذه العجينة تفقد لدونتها تدريجياً وبمرور الزمن حتى تصل إلى مرحلة التصلب وعندما تفقد العجينة لدونتها تماماً بحيث تستطيع ان تتحمل ضغطاً معيناً يقال إنها تجمدت.تحصل عملية التجمد على مرحلتين، المرحلة الأولى هي التجمد الإبتدائي أو التماسك الإبتدائي Initial setting والمرحلة الثانية هي التجمد النهائي أو التماسك النهائي final setting وبالرغم من إن عجينة الأسمنت تكتسب خلال هذه الفترة بعض المقاومة إلا إنه يجب التمييز بين التجمد setting والتصلب hardening الذي يشير إلى عملية إكتساب المقاومة لعجينة الأسمنت المتجمدة بمرور الوقت.

تتبين اهمية التجمد في الأعمال الخرسانية في ضرورة بقاء الكتلة الحديثة الخلط في حالة لدنة لفترة كافية لإتمام عملية النقل والصب والرص تحت ظروف عملية. ومن ناحية ثانية، يكون

من الأفضل من الناحية الإقتصادية أن تتصلب الكتلة وتكتسب بعض المقاومة في فترة معقولة بعد صبها في موقعها وبذا فأن تفهم طبيعة التجمد والتصلب لعجينة الأسمنت ضروري وذلك للسيطرة على خواص الخرسانة المنتجة تحت ظروف العمل.

يقاس زمن التجمد الإبتدائي والنهائي (التماسك الإبتدائي والتماسك النهائي) لعجينة الأسمنت ذات القوام القياسي بإستعمال جهاز فيكات ( vicat apparatus ) وكما مبين في الشكل أدناه:



إن زمن التجمد الإبتدائي (التماسك الإبتدائي ) يشير إلى بداية تجمد عجينة الأسمنت أما زمن التجمد النهائي (التماسك النهائي ) فيشير إلى بداية فترة التصلب وإكتساب المقاومة لهذه العجينة تشترط المواصفات البريطانية بأن لا يقل زمن التجمد الإبتدائي المقاس بهذه الطريقة عن 45 دقيقة وأن لا يزيد زمن التجمد النهائي عن 10 ساعات. اما المواصفة العراقية فتحدد زمن التجمد الإبتدائي بين 2-4 ساعة وأن زمن التجمد النهائي بين 5-8 ساعات.

يتأثر زمن التجمد ( التماسك ) لعجينة الأسمنت الحاوية على كمية مناسبة من الجبس إلى حد ما بالتركيب الكيمياوي للأسمنت ولكن نعومة الأسمنت ودرجة الحرارة، وكمية الماء الداخلة في تكوين العجينة هي العوامل المهمة التي تؤثر على عملية التجمد. وفي الحدود المقررة لنعومة الأسمنت، تزداد سرعة التجمد بزيادة نعومة الأسمنت وذلك بسبب زيادة المساحة السطحية المعرضة للتفاعل مع الماء أي زيادة النشاط الكيمياوي للحبيبات الناعمة. كما وإن إرتفاع درجة الحرارة تسرع من عملية التجمد أيضاً.

## التجمد الغير الحقيقي False Setting

التجمد الغير الحقيقي هو عبارة عن تجمد غير إعتيادي يحصل قبل اوانه وفي خلال بضع دقائق من خلط الماء بالأسمنت ويختلف عن التجمد الفجائي flash setting في أن الحرارة المتولدة تكون قليلة جداً ولا يمكن تقديرها كما ويمكن السيطرة على هذا النوع من التجمد وإسترجاع لدونة عجينة الأسمنت بإعادة خلطها من جديد بدون إضافة الماء حيث تتجمد بطريقة طبيعية وبدون أي فقدان في المقاومة. وفيما يلي أهم الأسباب التي تؤدي إلى حصول التجمد الغير الحقيقي:

1ـ جفاف ماء الجبس المستعمل:- عندما يطحن الجبس مع الكلنكر الحار الذي تتراوح درجة حرارته بين 100-190 م° يفقد بحدود 75% من الماء الداخل في تركيبه وعندما تزداد درجة حرارة الكلنكر عن 190 م° يفقد الجبس كل الماء الداخل في تركيبه متحولاً إلى كبريتات الكالسيوم اللامائية $CaSo_4$ وعند إضافة الماء إلى الأسمنت فان كبريتات الكالسيوم اللامائية تتميأ وتكون الجبس مسببة التجمد في خلال بضعة دقائق.

2ـ الخزن الرديء:- أثناء الخزن الغير جيد تتفاعل القلويات الموجودة في الأسمنت مع ثاني أوكسيد الكاربون مكونة كاربونات القلويات وعند إضافة الماء إلى الأسمنت تتفاعل

كاربونات القلويات مع هيدروكسيد الكالسيوم المتولد من إنحلال المركب $C_3S$ مكونة كاربونات الكالسيوم حيث تترسب مسببة تجمد عجينة الأسمنت.

3ـ تنشيط فاعلية $C_3S$ المعرضة للجو الرطب:- أثناء الخزن الرديء تتعرض حبيبات الأسمنت إلى تهوية ورطوبة عالية فيلتصق الماء بسطوحها ويكسبها فعالية وأثناء عملية الخلط تتحد هذه السطوح الفعالة بسرعة مع الماء مسببة التجمد في خلال دقائق.

ـــ إن كلفة طحن الكلنكر تزداد بزيادة نعومة الأسمنت مما يستوجب تحديد نعومة الأسمنت ، وكذلك فأن الأسمنت ذو النعومة العالية يتعرض إلى إماهة جزئية أثناء الخزن الرديء بسبب تعرضه للرطوبة مما يؤدي إلى فقدان قيمته الأسمنتية. وبزيادة نعومة الأسمنت تزداد المساحة السطحية للقلويات الموجودة فيه وينتج عن ذلك تفاعلها بشدة مع اجزاء السليكا الفعالة الموجودة في الركام مسببة تشقق وتلف الخرسانة بالإضافة على ذلك فأن الأسمنت ذو النعومة العالية يؤدي إلى زيادة في إنكماش عجينة الأسمنت، كما وأن زيادة النعومة تسبب زيادة المساحة السطحية للمركب $C_3A$ مما يستوجب زيادة كمية الجبس اللازمة لتأخير تفاعل $C_3A$ مع الماء.

ـــ تحدد المواصفة البريطانية B.S.12:1971 بأن لا تقل قيمة المساحة السطحية والتي تقدر من خلالها نعومة الأسمنت تقدر بـ 2250 سم $^2$/ غم للأسمنت البورتلاندي الأعتيادي وتقدر بـ 3250 سم $^2$/ غم للأسمنت البورتلاندي سريع التصلب، إذاً أحد أسباب قوة الأسمنت البورتلاندي سريع التصلب هي نعومته.

## قوة التحمل الإنضغاطية Compressive Strength

تعتبر المقاومة الميكانيكة للأسمنت المتصلب من أهم الخصائص اللازمة للأغراض الأنشائية، وتعتمد مقاومة الملاط Mortar أو الخرسانة على تماسك عجينة الأسمنت وعلى مقدار تلاصقها مع حبيبات الركام وعلى مقاومة الركام نفسه .

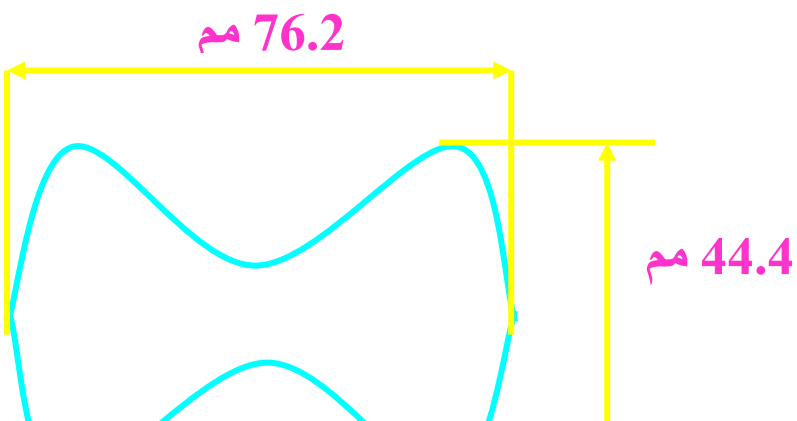
لغرض فحص مقاومة الأسمنت يستعمل ملاط الأسمنت ( مونة الأسمنت) بنسبة 3:1 وذلك بتهيئة ستة مكعبات خاصة لهذا الفحص حيث يكون طول الضلع 70.7 ± 0.1 مرصوصة

بماكنة إهتزاز وتصب في القوالب ثم تترك لمدة 24 ساعة بعدها ترفع من القوالب ثم تترك في الماء للمعالجة ، ثلاث مكعبات تفحص بجهاز فحص الإنضغاط بعد ثلاث أيام والثلاث مكعبات الآخرى تفحص بعد سبعة أيام، تحدد المواصفة البريطانية B.S.12:1971 مقاومة الإنضغاط لمونة الأسمنت بعمر ثلاثة أيام بـ 15 نيوتن / مم $^2$ و 23 نيوتن / مم $^2$ بعمر سبعة أيام للأسمنت البورتلاندي الأعتيادي وان مقاومة الإنضغاط لمونة الأسمنت بعمر ثلاثة أيام بـ 21 نيوتن / مم $^2$ و 28 نيوتن / مم $^2$ بعمر سبعة أيام للأسمنت البورتلاندي سريع التصلب.

## مقاومة الشد Tensile Strength

لغرض فحص مقاومة الشد للأسمنت يستعمل ملاط الأسمنت ( مونة الأسمنت) بنسبة 3:1 وذلك بتهيئة ستة قوالب خاصة لهذا الفحص تكون على شكل رقم 8 وتسمى قوالب بريكيت وكما موضحة في الشكل أدناه وتصب في القوالب ثم تترك لمدة 24 ساعة ، بعد يوم واحد تفحص القوالب الستة بواسطة جهاز فحص الشد ، تحدد المواصفة البريطانية B.S.12:1971 مقاومة الشد لمونة الأسمنت بعمر يوم واحد بـ 2.1 نيوتن / مم $^2$ للأسمنت البورتلاندي سريع التصلب.

**قالب بريكت لفحص الشد لمونة الأسمنت**



# الاختبار البعدي

أملأ الفراغات التالية بما يناسبها :

1. يستخدم قالب ---------- لفحص الشد لمونة الأسمنت.
2. حسب المواصفة البريطانية B.S.12:1971 تقدرمقاومة الإنضغاط لمونة الأسمنت بعمر ثلاثة أيام بـ ----------.
3. يستخدم قالب ---------- لفحص زمن التماسك الإبتدائي لعجينة الأسمنت.

# الوحدة النمطية الخامسة

# الاسبوع 11

الركام: تصنيف الركام،طرق اخذ النماذج،شكل الجسيمات، الملمس السطحي للجسيمات،قوة تحمل الركام.

## أهـــــــــــــــداف الوحـــــــــــــــدة

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على :-**

1ـ معرفة تصنيف الركام بالنسبة للمنشـأ.

2ـ معرفة تصنيف الركام بالنسبة للملمس السطحي.

3ـ معرفة كيفية أخذ عينات من الركام للفحص

4ـ معرفة خواص الركام (الشكل والمقاومة)

## ٢- الاختبار القبلي (Pre – Test):

أختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي :

1. أحد الأسباب الأتية ليس له علاقة بحدوث التجمد الغير حقيقي للأسمنت أثناء إضافة الماء:

أ ) نعومة الأسمنت ب ) تنشيط فاعلية C3S

ج ) جفاف ماء الجبس د ) الخزن الرديء للأسمنت

2. تحدد المواصفة القياسية العراقية زمن التماسك الإبتدائي لعجينة الأسمنت بـ :

أ ) 5-8 ساعة ب ) 2-4 ساعة ج ) 45 دقيقة د ) 10 ساعات

3. للأسمنت البورتلاندي سريع التصلب تحدد المواصفة البريطانية B.S.12:1971 مقاومة الشد لمونة الأسمنت بعمر يوم واحد بـ.

أ ) 2.1 نيوتن / مم $^2$ ب ) 21 نيوتن / مم $^2$

ج ) 210 نيوتن / مم $^2$ د ) 28 نيوتن / مم $^2$

## الركام

إن لنوعية وخواص الركام تأثير كبير على الخرسانة وخواصها كونه يشغل 70%-80% من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية. يتكون الركام من حبيبات صخرية متدرجة في الحجم منها حبيبات صغيرة كالرمل Sand وحبيبات كبيرة الحصى Gravel. حيث يعطي الركام الأستقرارية والمقاومة للقوى الخارجية والعوامل الجوية المختلفة كالحرارة والرطوبة والإنجماد وكذلك يقلل من التغيرات الحجمية الناتجة عن تجمد وتصلب عجينة الأسمنت أو عن تعرض الخرسانة للرطوبة والجفاف. من خلال ما سبق فأن الخرسانة التي يتم إستعمال الركام فيها مع عجينة الأسمنت تكون ذات متانة أفضل مما لو أستعملت عجينة الأسمنت لوحدها.

عند إختيار الركام لغرض إستعماله في الخلطات الخرسانية يجب مراعاة ما يلي:

1- إقتصادية الخلطة.
2- المقاومة الكامنة للكتلة الخرسانية المتصلبة.
3- المتانة المحتملة لهيكل الخرسانة.

### التصنيف العام للركام
### General Classification of Aggregeat

#### أـ تصنيف حبيبات الركام بالنسبة للمقاس:-

يتراوح مقاس Sizeالركام المستعمل في الخرسانة بين بضع سنتمترات إلى جزء من الألف من السنتمتر ، ويعرف التوزيع الحجمي لحبيبات الركام بالتدرج ويمكن تقسيم حبيبات الركام بالنسبة للمقاس كالأتي:

اولاـ الركام الخشن Coarse aggregate أو الحصى Gravel : يتضمن الركام الخشن مجموعة من الحبيبات التي تحتجز معظمها (95%-100 % من وزنها ) على منخل مقاس 4.75 مم (16/3 ) أنج . تحدد المواصفة القياسية العراقية رقم 45 والخاصة بركام المصادر الطبيعية المستعمل في البناء بأن يكون الركام الخشن أحد الأنواع التالية:

1- حصى غير مكسر:- ركام خشن ناتج عن ظروف التعرية الطبيعية لأنواع الصخور.

2- حصى مكسر أو حجر مكسر:- ركام خشن ناتج عن تكسير الحصى أو الحجر الصلب.

3- حصى مكسر جزئياً:- ركام خشن يتكون من خليط من حصى مكسر وغير مكسر.

ثانياـ الركام الناعم Fine Aggregate أو الرمل Sand : يتضمن الركام الناعم مجموعة من الحبيبات التي تمر معظمها (95%-100 % من وزنها ) على منخل مقاس 4.75 مم (16/3 ) أنج . تحدد المواصفة القياسية العراقية رقم 45 الركام الناعم أحد الأنواع التالية:

1- رمل طبيعي:- رمل ناتج من التعرية الطبيعية لأنواع من الصخور.

2- رمل الحجر المكسر أو رمل الحصى المكسر:- ركام ناتج عن تكسير الحصى أو الحجر الصلد. علماً إن المادة التي يتراوح مقاس حبيباتها بين 0.002-0.06 مم تعرف بالغرين Silt والمادة التي يكون مقاس حبيباتها أصغر من 0.002 مم تعرف بالطين Clay .

ثالثاـ الركام الشامل All - in or Pit Run Aggregate: هو خليط من الركام الخشن والركام الناعم.

## ب ـ تصنيف الركام نسبةً إلى المنشأ

**يصنف الركام نسبةً إلى منشأه كما يلي :-**

**اولاـ الركام الطبيعي:-** إن المنشأ الطبيعي لحبيبات الركام هو الكتل الصخرية الكبيرة التي قد تتجزأ بصورة طبيعية بفعل العمليات الجوية والتأكل Abrasion أو قد تسحق صناعياً، لذا فأن بعض

خواص الركام تعتمد كلياً على خواص الصخور الأصلية كالتركيب الكيمياوي والتركيب المعدني والوزن النوعي والصلادة والمقاومة والأستقرار الكيمياوي ومسام الهيكل واللون. ومن ناحية ثانية هناك بعض خواص الركام غير موجود في الصخور الأصلية مثل مقاس الحبيبات وشكل الحبيبات وملمسها السطحي والإمتصاص وكل هذه الخواص تؤثر بدرجة كبيرة على خواص الخرسانة الطرية والمتصلبة.تقسم المصادر الطبيعية للركام إلى ما يلي:

1ـ الصخور النارية أو البركانية:- تكونت هذه الصخور سواء كانت على سطح الأرض أو في أعماقها من تصلب المائع الباطني المنصهر في داخل الأرض والذي يرتفع من أعماق غير معروفة داخل الأرض إلى السطح وتحتوي هذه الصخور عادةً على نسبة عالية من السليكا. ومن هذه الصخور هي صخور الغرانيت والبازلت.

2ـ الصخور الرسوبية:- تكونت هذه الصخور من المواد المتفتتة والجزيئات التي تفتت من صخور أقدم منها ( الصخور الرسوبية والنارية والمتحولة ) بواسطة عوامل التعرية والتجوية وأنتقلت بواسطة عوامل مختلفة كالرياح والمياه الجارية والجليد وترسبت في المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار. تشكل الصخور الرسوبية حوالي 75% من سطح الأرض. من الصفات العامة لهذه الصخور إنها مسامية وحبيباتها سواء كانت مستديرة أو ذان زوايا حادة يكون سطحها أملس. ومن هذه الصخور هي الصخور الكلسية Limstone والصخور الرملية Sandstone والصخور الطينية.

3ـ الصخور المتحولة:- تنتج هذه الصخور من تحول الصخور النارية أو الرسوبية أو المتحولة القديمة نتيجة للضغط الكبير والحرارة العالية الموجودة في الأعماق والسوائل الكيمياوية النشطة المتمثلة في الأبخرة والسوائل الناتجة من المادة المنصهرة. من هذه الصخور هي صخور الرخام وصخور الكوارتزيت.

**ثانيا ـ الركام الصناعي:-** يشمل الركام الناتج صناعياً ما يلي:-

- ركام منتج وفقاً لعمليات معينة كالمعالجة الحرارية وذلك للحصول على مواد متمددة وخفيفة الوزن مثل معالجة الطين بالحرارة لحين تمدده لإنتاج الركام الخفيف Lightweight Aggregate .
- إستخدام المواد المتكونة كناتج عرضي من بعض الصناعات كركام مثل خبث الأفران العالية وركام مخلفات الفحم الناتج عن حرق الفحم في محطات توليد الطاقة.

## كيفيةأخذعينات الركام SamplingofAggregate

أن العينة المستعملة لفحص الخواص المختلفة للركام يجب أن تمثل بصورة صحيحة المجموعة المأخوذة منها، ولا يجوز آخذ عينة لفحص خاصية معينة للركام من قمة أو قاعدة جملة الركام وذلك لأن القسم الأعلى من مخروط جملة الركام يحتوي على نسبة كبيرة من الحبيبات الصغيرة بينما تكون نسبة الحبيبات الكبيرة في قاعدة مخروط جملة الركام أكثر فالعينة المستعملة يجب أن تمثل معدلاً لخواص الركام وبذا تسمى العينة النموذجية Representative Sample ، يتم تجميع هذه العينة من عدة كميات صغيرة تؤخذ من مناطق مختلفة من جملة الركام لا تقل عن 10 مناطق بحيث تكون نسبة الحبيبات الصغيرة والكبيرة في العينة مطابقة بقدر الأمكان لتلك الموجودة في جملة الركام.

كما لا يجوز أن يقل وزن العينة الناتجة عن القيم المدونة في الجدول أدناه للحبيبات ذات المقاسات المختلفة وذلك بموجب المواصفات القياسية البريطانية ( B.S 812:1967 ) والموصفات القياسية العراقية رقم 29.

| الحد الاقصى لمقاس الحبيبات الموجودة في العينة<br>مم | الحد الادنى لوزن العينة المجهزة للفحص<br>كغم |
|---|---|
| 50 <<br>25 – 50<br>5- 25<br><5 | 50<br>25<br>18<br>13 |

يتضح من الجدول أعلاه أن العينة الرئيسية كبيرة نوعاً ما بالأخص عندما يتم إستعمال ركام ذو مقاس كبير ولذلك يجب تقليل وزن العينة قبل الفحص. وفي جميع مراحل التقليل يكون من الضروري التأكد من إن العينة أحتفظت بخواصها النموذجية أي أن عينة الفحص الحقيقية تملك خواص مماثلة للعينة الرئيسية أي لجملة الركام. توجد هناك طريقتان لتقليل حجم العينة وهما:

اولا– التقسيم الربعي Quartering :- بعد أن يتم أخذ العينة

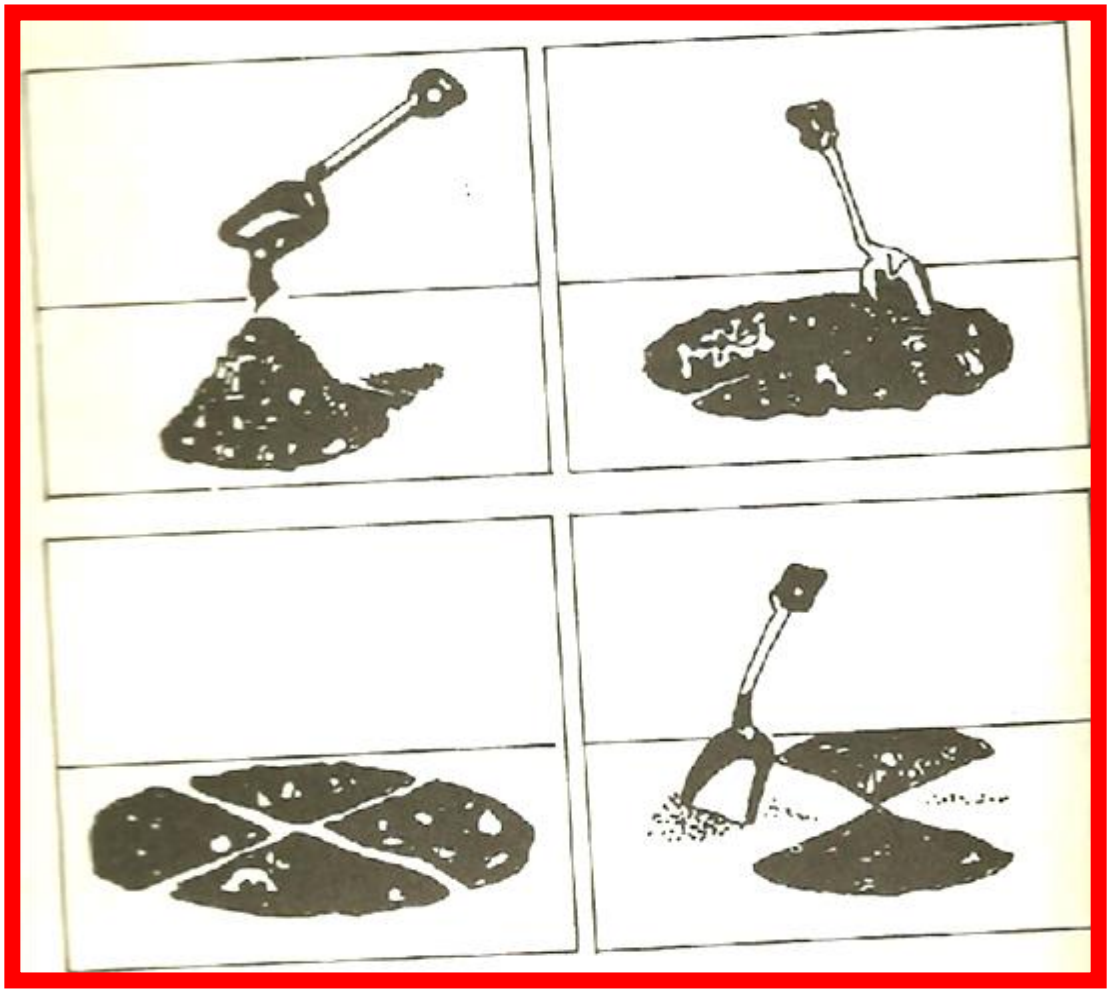
من 10 مناطق من جملة الركام يتم تقليل وزن العينة

كما يلي:

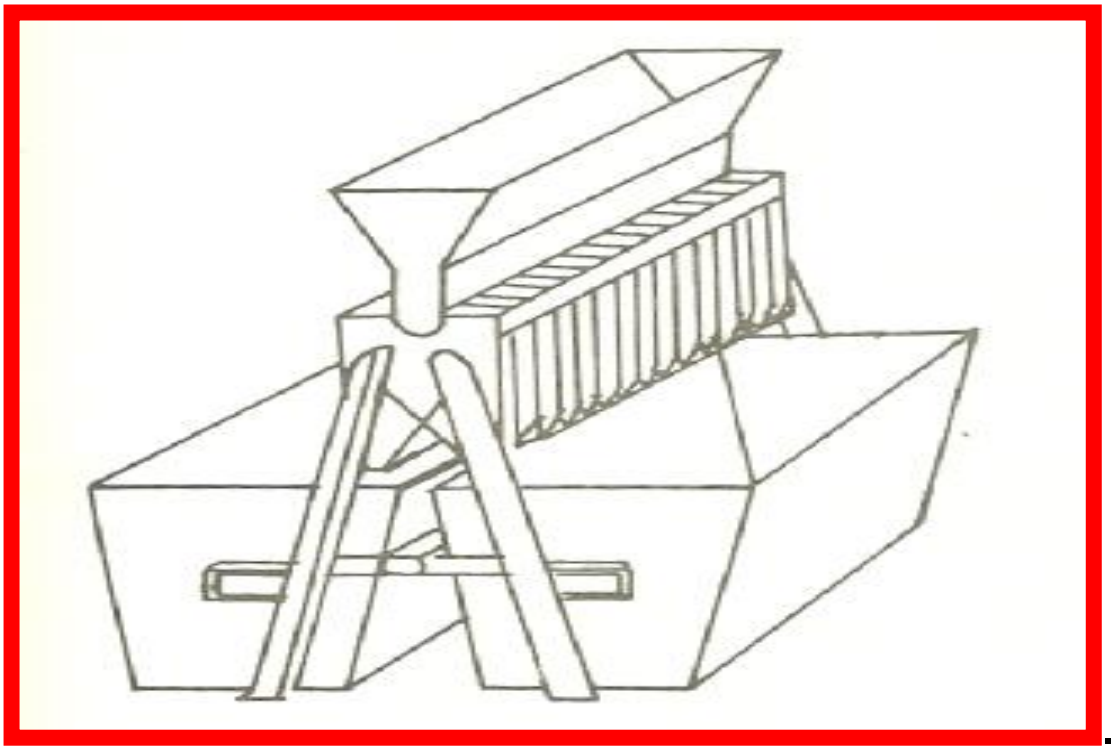
تخلط العينة وإذا كان ركام ناعم يجب أن يرطب تجمع العينة على شكل مخروط ثم تقلب لتكوين مخروط جديد.

لمنع الأنعزال.

- تكرر العملية أعلاه مرتين.
- يسوى المخروط النهائي على شكل قرص دائري بصورة تدريجية إلى أن يتم نشر المادة بسمك واحد.
- تقسم الدائرة إلى أربعة أقسام متساوية.
- يبعد قسمين متقابلين ويؤخذ القسمين المتقابلية الآخرين.
- تكرر هذه العملية لحين الوصول إلى الوزن المطلوب لغرض إجراء الفحص على العينة.



التقسيم النصفي Riffling :- يتم إستعمال قاسم العينات أو قاسمة النماذج والموضحة في الشكل أدناه، حيث تتكون من صندوق يحتوي على عدد من التقسيمات العمودية المتوازية مع صندوقين آخرين يوضعان على جانبيه وذلك لغرض تجميع العينة المقسمة. يتم تفريغ العينة الرئيسية على العرض الكلي لصندوق قاسم العينات وبذلك تنقسم إلى جزئين ويتم تجميعها في الصندوقين الكائنين على جهتي صندوق قاسم العينات ومن ثم يهمل أحد الجزئين ويقسم الجزء الأخر بنفس الطريقة إلى أن نصل إلى الوزن المطلوب



## خواص الركام

### أ - شكل حبيبات الركام Shape of Aggregate

يمكن وصف شكل حبيبات الركام كما يلي:-

4 **الأستدارة أو التكور Roundness** : تعتبر الأستدارة كمقياس للحدة النسبية لحافات وزوايا حبيبات الركام .تعتمد إستدارة الحبيبات بدرجة كبيرة على قوة الصخور الأصلية ومقاومتها للتآكل وعلى مقدار الأحتكاك الذي تتعرض له الحبيبات. أما بالنسبة للركام المكسر Crushed Aggregate فأن شكل الحبيبات يعتمد على طبيعة المواد الأصلية وعلى نوع الكسارة المستخدمة في التكسير ونسبة الإختصار ( نسبة حجم المادة الموضوعة إلى حجم الناتج النهائي المكسر ) . الجدول أدناه يبين تقسيم أشكال الركام وحسب المواصفة القياسية البريطانية ( B.S 812:1967 ).

| الشكل | الوصف | الامثله |
|---|---|---|
| **1- الكروي (مستدير)** | **كروي الشكل بفصل البري بالماء** | **الحصى النهري والرمل البحري والصحراوي** |
| **2- غير منتظم** | **طبيعياً غير منظم أومتأكل جزئياً** | **بعض أنواع الحصى واصوان** |
| **3- رقائقي ( مفلطح )** | **قليل السمك مقارنة بالبعدين الآخرين** | **ركام الصخور الطبقية** |
| **4- زاوي** | **حافاته حادة وواضحة** | **الحجر المكسر** |
| **5- مستطال** | **طول قطعة كبير مقارنة بالبعدين الآخرين** | **بعض أنواع الحصى** |
| **6- رقائقي ومستطال** | **طول قطعه اكبر من العرض والعرض اكبر من السمك** | **بعض أنواع الحصى** |

4 **الكروية Sphericity :** الكروية هي دالة لنسبة المساحة السطحية للحبيبات إلى حجمها وتعتمد أيضاً على نوع أجهزة التكسير عندما يكسر صناعياً.

الحبيبات التي تكون نسبة مساحتها السطحية إلى حجمها عالية، مثل الحبيبات الرقائقية والحبيبات المستطالة تقلل من قابلية تشغيل الخليط كما وتؤثر الحبيبات الرقائقية على متانة الخرسانة Durability of Concrete بطريقة عكسية وذلك لأنها تميل للتوجه في مستوى واحد مع تشكيل ماء وفجوات هوائية تحتها. وإذا زادت نسبة الحبيبات الرقائقية أو المستطالة عن 10-15 % من وزن الركام الخشن فأن تأثيرها يكون ضاراً بخواص الخرسانة.

إن وزن الحبيبات الرقائقية كنسبة من وزن النموذج الكلي يعرف بمعامل الترقق Flakiness Index أما معامل الإستطالة Elongation Index فيمكن تعريفه بطريقة مماثلة. وموجب المواصفات القياسية البريطانية ( B.S 812:1967 ) فأن الحبيبات تكون رقائقية إذا كان أصغر أبعادها ( سمكها ) أقل من 0.6 المعدل العام لسمك الحبيبات. وتكون الحبيبات مستطالة إذا كان أكبر أبعادها ( طولها ) يزيد على 1.8 متوسط طولها.

## الملمس السطحي لحبيبات الركام

يستند تصنيف حبيبات الركام نسبةً إلى الملمس السطحي على الدرجة التي تصقل بها الحبيبات أي نعومة السطح وخشونته. يؤثر الملمس السطحي لحبيبات الركام إلى حدٍ ما على مقاومة الخرسانة وقابلية تشغيلها فكلما كان الملمس خشناً كلما زادت قوة التلاصق بين حبيبات الركام وعجينة الأسمنت. أما الحبيبات ذات الملمس الناعم فأنها تحسن قابلية تشغيل الخرسانة حيث أنها تقلل من الأحتكاك الداخلي بين أجزاء الخليط أثناء عملية الخلط.

| الملمس السطحي | الوصف | الأمثلة |
|---|---|---|
| زجاجي | سطح كسر صدفي | الصوان الأسود |
| ناعم | سطح متأكل بألماء ناتج عند كسر حجر رقائقي ناعم الحبيبات | الحصى ، الرخام ، |
| حبيبي | سطح الكسر يظهر عليه اشكال بلورية ناعمة متساوية المقاس تقريباً | الحجر الرملي |
| خشن | سطح الكسر خشن دو حبيبات ناعمة او متوسطة وذات اشكال بلورية | حجر الكلس ، البازلت |
| بلوري | سطح الكسر يظهر عليه بنيه بلورية واضحة | الكرانيت ، الكايرو |
| ألمنخري | سطح الكسر يظهر عليه تجاويف وفجوات | الخفاف، الكلنكر ، الطين المفخور والمنفوخ |

**تصنيف حبيبات الركام نسبة الى ملمسها السطحي حسب المواصفة البريطانية**

يعتبر التلاصق بين الركام وعجينة الأسمنت من أهم الخواص التي تحدد جودة الخرسانة. تعتمد هذه الخاصية جزئياً على التداخل Interlocking بين الركام وعجينة الأسمنت نتيجة لخشونة سطح الركام، وكلما كانت خشونة السطح أكثر كما في الحبيبات المكسرة كلما كان التلاصق أفضل.

إن قياس جودة أو نوعية تلاصق الركام مع عجينة الأسمنت صعب جداً وليس هناك إختبار مقبول لهذه الخاصية. وبصورة عامة يكون التلاصق جيداً إذا كانت العينة الخرسانية المكسورة حاوية في سطح الفشل على بعض حبيبات الركام المكسورة إضافة إلى عدد كبير من الحبيبات المقلوعة من موقعها ويوحي زيادة نسبة الحبيبات المكسرة إلى كون الركام ضعيف جداً.

وبما إن التلاصق بين حبيبات الركام وعجينة الأسمنت يعتمد على مقاومة عجينة الأسمنت إضافة إلى خواص سطوح حبيبات الركام فأن مقاومة التلاصق تزداد بزيادة عمر الخرسانة وتكون أهمية خاصية التلاصق كبيرة في الخرسانة ذات المقاومة العالية وذلك لوجود إحتمالية كون مقاومة التلاصق أقل من مقاومة الشد لعجينة الأسمنت وبذلك يكون إحتمال فشل التلاصق راجحاً.

## مقاومة الركام Strength of Aggregate

إن مقاومة الإنضغاط للخرسانة لا تتعدى مقاومة الإنضغاط للركام الداخل في تكوينها. إن مقاومة ومرونة الركام تعتمد على تركيبه الصخري وملمسه السطحي وبنيته. لهذا فأن المقاومة الواطئة للركام قد تنتج من ضعف في المكونات الصخرية للركام أو قد تكون هذه المكونات قوية ولكنها ضعيفة الترابط مع بعضها البعض. ومن المعروف إن تأثير الركام على مقاومة الخرسانة يعتمد على إمتصاصه وخصائص تماسكه إضافة إلى مقاومته الميكانيكية.

أعلى قيم مقاومة الإنضغاط هي لحجر الكوارتز حيث تقدر بـ 530 نت / مم$^2$ ، وعادةً تكون المقاومة المطلوبة في الركام المستعمل للخلطة الخرسانية أعلى من الحدود الإعتيادية لمقاومة الإنضغاط للخرسانة نفسها وذلك لإن الأجهاد الفعلي في نقاط تماس حبيبات الركام الموجودة ضمن الخرسانة قد يكون أعلى بكثير من إجهاد الإنضغاط الأسمي المسلط.

يزداد معامل مرونة الخرسانة Modulus of Elasticity of Concrete بزيادة معامل مرونة الركام الداخل في تكوينها، كما وإن معامل مرونة الركام يؤثر على مقدار زحف Creep وإنكماش Shrinkage الخرسانة. ومن ناحية آخرى فأن الركام ذو المقاومة ومعامل المرونة المتوسطة قد يكون ذا فائدة كبيرة للخرسانة وذلك لأنه يقلل من تأثير التغيرات الحجمية الناتجة عن التغيرات الحرارية أو التفاعلات الكيمياوية في الخرسانة عن طريق تسليط إجهاد أقل على عجينة الأسمنت بسبب كونه قابلاً للإنضغاط ،أما الركام الصلد ( الغير قابل للإنضغاط ) قد يؤدي إلى تشقق عجينة الأسمنت المحيطة به

# الاختبار البعدي

أملأ الفراغات التالية بما يناسبها :

1. أكثر الأحجار مقاومة هوحجر ---------- .

2 .يتم أخذ عينة الركام من عدة كميات صغيرة تؤخذ من مناطق تكون نسبة الحبيبات الصغيرة والكبيرة في العينة مطابقة بقدر الأمكان لتلك الموجودة في جملة الركام.

3. يشغل الركام حوالي ---------- من الحجم الكلي للكتلة الخرسانية .

# الوحدة النمطية السادسة

# الاسبوع 12– 16

الركام

الصفات الميكانيكية للركام : (الوزن النوعي،وحدة الوزن المرصوصة وغير المرصوصة، التدرج، المسامية، قابلية الأمتصاص، التآكل ــ السحج، تضخم الرمل)

# اهداف الوحدة

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على :-**

1ـ معرفة الوزن النوعي للركام.

2ـ معرفة الوزن النوعي الحقيقي للركام.

3ـ معرفة الوزن الظاهري للركام.

4ـ معرفة كيفية استخراج الكثافة النسبية للمجاميع الخشنة.

5ـ معرفة التحليل المنخلي للركام.

6ـ معرفة مقاومة السحج للركام الخشن.

# الاختبار القبلي

**أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :**

1. **يعتبر الركام خشن إذا أحتجز على منخل مقاس 4.75 مم.**

2. **الطين هو المادة التي يكون مقاس حبيباته 0.002 مم.**
3. **يعتبر الركام ذا شكل رقائقي إذا كانت الحبيبات ذات سمك صغير نسبةً إلى بعديها الآخرين.**

# الوزن النوعي للركام ( الكثافة النسبية)

وهو نسبة وزن المجاميع إلى وزن حجم مساوي من الماء المقطر الخالي من الفقاعات الهوائية وفي نفس درجة الحرارة. يتراوح الوزن النوعي للمجاميع بصورة عامة بين 2.4 – 2.9 . وبما أن الركام يحتوي على مسامات غير منفذة وآخرى منفذة فأن الحجم الفعلي لحبيبات الركام يكون أقل من الحجم الظاهري لأن الأخير يحتوي على مسامات مملوءة بالهواء ولذلك يمكن تقسيم الوزن النوعي تبعاً لطريقة تعينه إلى ما يأتي:

- الوزن النوعي المطلق أو الحقيقي Absolute or True Specific Gravity : وهو نسبة وزن حجم معين من الركام ( بإستثناء المسامات الغير منفذة والمنفذة ) إلى وزن حجم مساو من الماء المقطر الخالي من الغازات ، يؤخذ كليهما في درجة حرارة محددة. ولإيجاد هذا النوع من الوزن النوعي يجب سحق المادة سحقاً كاملاً لإزالة تأثير المسامات الغير منفذة علماً بأن الوزن النوعي المعين بهذه الطريقة ليس مهم في الأعمال الخرسانية وذلك لأن الركام لا يستعمل بشكل مسحوق.
- الوزن النوعي الكلي Bulk Specific Gravity : وهو نسبة وزن حجم معين من الركام ( ويشمل المسامات المنفذة والغير منفذة ) بالهواء في درجة حرارة معينة إلى وزن حجم مساو من الماء المقطر الخالي من الغازات في نفس الهواء وفي نفس درجة الحرارة.
- الوزن النوعي الظاهري Apparent Specific Gravity : وهو نسبة وزن حجم معين من الركام ( بضمنه المسامات الغير المنفذة ) في الهواء بدرجة حرارة معينة إلى وزن حجم مساو من الماء المقطر الخالي من الغازات في نفس الهواء وفي نفس درجة الحرارة.

و بصورة عامة تستند حسابات الخرسانة على ركام بحالة مشبعة بالماء وجاف السطح Saturated Surface – Dry وذلك لأنه الماء الموجود في جميع مسامات الركام لا يشارك في التفاعلات الكيمياوية للأسمنت ولذلك يمكن إعتباره جزأ من الركام.

**إذاً يمكن حساب الكثافة النسبية بالنسبية للمجاميع الخشنة كما يلي :-**

$$\text{الكثافة النسبية الكلية} = \frac{\text{أ}}{\text{ب} - \text{جـ}}$$

ب

الكثافة النسبية الكلية ( مشبع جاف السطح ) = ــــــــــــ

ب – جـ

أ

الكثافة النسبية الظاهرية = ــــــــــــ

أ – جـ

ب – أ

النسبة المئوية للأمتصاص= ــــــــــــ x 100

أ

حيث إن :-

أ: وزن العينة مجفف بالفرن .

ب : وزن العينة مشبعة جاف السطح.

ج : وزن العينة مشبعة جاف السطح وهي مغمورة بالماء

**أماً بالنسبية للمجاميع الناعمة فيمكن حساب الكثافة النسبية كما يلي :-**

أ

الكثافة النسبية الكلية = ــــــــــــ

ح – م

أ

الكثافة النسبية الظاهرية = ــــــــــــــــــــــــــ

( ح – م ) – (500 – أ )

500 – أ

النسبة المئوية للأمتصاص= ـــــــــــ x 100

أ

حيث إن :-

أ: وزن العينة مجفف بالفرن .

ح : حجم القنينة بالمللتر ( 500 ).

م : وزن الماء المضاف إلى القنينة بالغرامات أو حجم الماء المضاف إلى القنينة بالمللتر.

**مثال:-**

في فحص الكثافة النسبية للركام الخشن تم الحصول على النتائج الأتية:-

وزن النموذج مجفف : 4970 غرام

وزن النموذج مشبع جاف السطح : 5000 غرام

وزن النموذج مشبع جاف السطح مغمور بالماء : 3150 غرام

أوجد مقدار الكثافة النسبية الكلية والظاهرية في حالة كون النمةذج مجفف ومشبع جاف السطح.

**مثال:-**

في فحص الكثافة النسبية للركام الناعم تم الحصول على النتائج الأتية:-

وزن النموذج مجفف : 380 غرام

وزن الماء المضاف للنموذج : 305 غرام

حجم الإسطوانة: 500 مللتر

وزن النموذج مشبع جاف السطح : 500 غرام

أوجد مقدار الكثافة النسبية الكلية والظاهرية في حالة كون النمةذج مجفف ومشبع جاف السطح.

# الكثافة الكلية المرصوصة وغير المرصوصة

تعرف الكثافة الكلية للركام بأنها وحدة حجم الركام بالهواء في درجة حرارة معينة ( ويشمل المسامات الكتيمة والمنفذة ) وتقاس بـ كغم / م $^3$ . وعند تحديد كميات المواد على أساس حجمي يكون من الضروري معرفة الحالة التي يقاس عندها حجم الركام فقد يكون سائباً أو مرصوصاً أو قد يكون جافاً أو رطباً أو مبتلاً. وبصورة عامة ولغرض مقارنة الأنواع المختلفة من الركام يجب أن يكون الركام جافاً ومرصوصاً.

يجري إختبار الكثافة الكلية إعتماداً على المواصفة القياسية العراقية رقم 31 حيث يستخدم إسطوانة معدنية غير قابلة للصدأ ويعتمد حجم الأسطوانة على المقاس الأقصى للركام.

يتم تعيير إسطوانة القياس وذلك بتعيين وزن الماء إلى أقرب ± 0.1% اللازم لملىء الأسطوانة وحساب الحجم الفعلي لهذه الأسطوانة من قسمة وزن الماء بالكيلوغرامات اللازم لملئها على 1000 . بعد ذلك يتم ملىء الأسطوانة بالركام لغاية ثلثها ومن إرتفاع لا يزيد عن 50 مم من حافة الأسطوانة ثم ترص بواسطة قضيب معدني دائري المقطع طوله 600 مم وقطره 16 مم مدور من إحدى نهايتيه ، يعتمد عدد الضربات على المقاس الأقصى للركام وكما مبين أناه:

| | |
|---|---|
| عدد الضربات | 100 – 50 – 30 – 20 |
| المقاس الأقصى للركام ( مم ) | 50 – 28 – 14 – 16 |

ثم تضاف الطبقة الثانية من الركام ولحد ثلثي إرتفاع الأسطوانة وترص بنفس الطريقة ومن ثم تضاف الطبقة الأخيرة بحيث تكون أعلى من مستوى الحافة للأسطوانة وترص أيضاً بنفس الأسلوب ويزال الزائد من الركام ويسوى السطح بواسطة القضيب وتوزن. الفرق بين الوزنين يمثل وزن الركام مرصوص وبقسمة هذا الفرق على حجم الأسطوانة يمكن الحصول على الكثافة الكلية المرصوصة.

ولغرض تعيين الكثافة الغير مرصوصة يتم مليء إسطوانة القياس بالركام دون رص وتسوية السطح ثم وزن الأسطوانة مع الركام والفرق بين الوزنيين يكون وزن الركام الغير مرصوص وثم تقسم على حجم الأسطوانة للحصول على الكثافة الكلية الغير مرصوصة.

تعتمد الكثافة الكلية للركام على :

- حالات الرطوبة.
- مقدار الرص.
- التوزيع الحجمي.
- شكل الحبيبات.

# تدرج المجاميع Grading of Aggregates

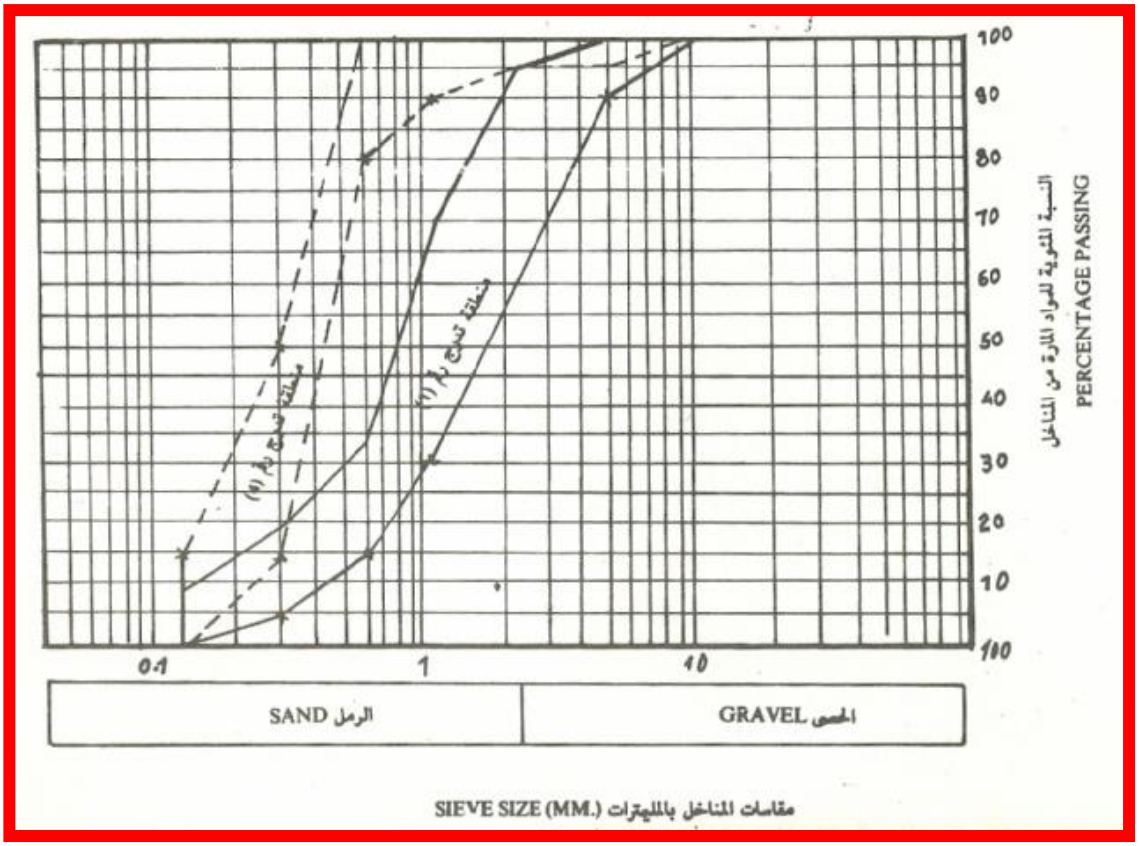
يكون تدرج المجاميع بإستعمال مناخل تحددها المواصفة القياسية العراقية رقم 23 وهي ( 10مم، 4.75 مم ،2.36 مم ،1.18 مم ، 600 مايكرون ،300 مايكرون ، 150 مايكرون ) بالنسبة للركام الناعم وعلى أساس فتحات مربعة. أما بالنسبة للركام الخشن فالمناخل المستعملة هي منخل رقم :

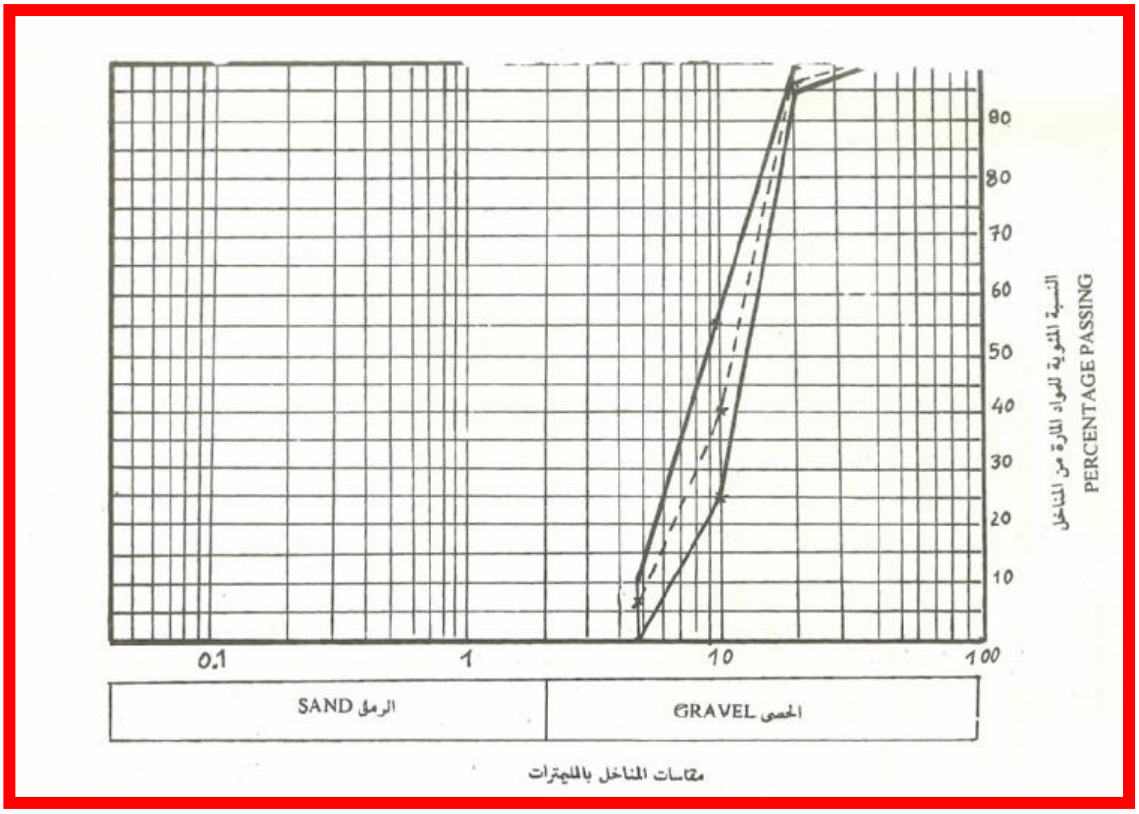
75 ، 37.5 ، 20 ، 10 ، 5 .

إن الغاية الأساسية من تحديد تدرج الركام والحجم الأكبر للمجاميع هو تأثيرها على نسبة الخلط وقابلية تشغيل الخرسانة والمسامية وإقتصادية الخلطة .

# التحلي المنخلي وحدود التدرج Sieve Analysis & Grading Limits

تدعى عملية عزل نموذج من المجاميع إلى أجزاء يحتوي كل جزء منها على قياس واحد من الجزيئات بالتحليل المنخلي. بالإمكان معرفة نتائج التحليل المنخلي مباشرةً بإستخدام منحنيات التدرج الخاصة بالركام الناعم والركام الخشن وكما موضح في الشكل أدناه وحسب المواصفة القياسية العراقية رقم 45 ، حيث يمثل المحور السيني ذو التقسيمات اللوغارتمية قياسات المناخل والمحور الصادي يمثل نسبة المادة المتجمعة المارة.


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
النسبة المئوية للمواد المارة من المناخل
PERCENTAGE PASSING
0.1
1
10
SAND الرمل
GRAVEL الحصى
مقاسات المناخل بالمليمترات SIEVE SIZE (MM.)




# معاير النعومة
# Fineness Modulus

إن معاير النعومة للرمل يعرف بمجموع النسب المتبقية والمتجمعة مقسومة على 100 ، إن هذا الرقم هو مؤشر لنعومة المجاميع فكلما أرتفع هذا الرقم كانت المجاميع أخشن. يكون معاير النعومة للحصى بحدود 2 –3.75 وللرمل بحدود 5 – 8 .

**مثال :-** تم إجراء فحص التحليل المنخلي لنموذج من الرمل فكانت النتائج كما مبين في الجدول أدناه، بين مدى مطابقة النموذج للمواصفة القياسية العراقية رقم 45 ثم جد معاير النعومة علماً إن وزن النموذج 1000 gm.

| رقم المنخل | الوزن المتبقي | النسبة المئوية | النسبة | النسبة | حدود المواصفة |
|---|---|---|---|---|---|

| مم | غم | المتبقية | المئوية المتجمعة للمتبقي | المئوية المتجمعة المارة | |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 |
| 4.75 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 96.5 | 100- 90 |
| 2.36 | 85 | 8.5 | 12 | 88 | 100 - 85 |
| 1.18 | 42 | 4.2 | 16.5 | 83.8 | 100 - 75 |
| 0.6 | 178 | 17.8 | 34 | 66 | 79 - 60 |
| 0.3 | 412 | 41.2 | 75.2 | 24.8 | 40 - 12 |
| 0.15 | 168 | 16.8 | 92 | 8 | 10 - 0 |
| pan | 80 | 8 | 100 | 0 | |
| المجموع | 1000 | 100 | 332.9 | | |

معاير النعومة = $\frac{332.9}{100}$ = 3.33

# المجاميع ذات التدرج المنقطع
# Gap – Graded Aggregate

هي المجاميع التي ينقصها جزيئات بمقاسات معينة فنقصان مقاسان متتاليان أو أكثر من الجزيئات قد يسبب الإنفصال .

**المسامية والإمتصاص للركامPorosity & Absorption of Aggregate**

إن لوجود المسامات في الركام أهمية كبيرة حيث تؤثر على بعض خواصه منها التلاصق بينه وبين الأسمنت وكذلك على مقاومة الخرسانة للإنجماد والذوبان بالإضافة إلى توازنه الكيمياوي ومقاومته للتآكل . وبما إن الركام يشغل 4/3 حجم الخرسانة فأن لمسامية الركام دور مهم في تحديد مسامية الخرسانة ، إ ن الحجم المشغول من قبل الركام في الخرسانة الطرية هو حجم حبيباته بضمنها كل انواع المسامات ولمنع إنتقال الماء إلى الركام فأن مساماته يجب أن تكون مملوءة بالماء أي يجب أن يكون بحالة مشبعة.

ومن جهة آخرى إذا كانت حبيبات الركام في الحالة الرطبة فأن الماء الموجود على سطوحها سيضاف إلى ماء الخليط الأصلي ويشغل حجماً إضافياً إلى جانب حبيبات الركام لذلك تستند الماء / الأسمنت الفعالة على أساس كون الركام مشبعاً وجاف السطح ،يمكن تصنيف الركام نسبةً إلى محتواه المائي إلى ما يلي:-

- ركام جاف كلياً Fully Dry Aggregate : يمكن الحصول على هذا الركام بتجفيفه بالفرن بدرجة حرارة 100 – 110 م° إذ يتم تبخر كل الرطوبة الداخلية والسطحية منه.
- ركام جاف بالهواء Air Dry Aggregate : يتميز هذا الركام بخلو سطوح حبيباته وبعض مساماته الداخلية القريبة من السطح من الرطوبة أي إن حبيباته غير مشبعة بالماء.
- ركام مشبع وجاف السطح Saturated Surface Dry Aggregate : يتميز هذا الركام بعدم وجود رطوبة سطحية Surface Moisture فوق حبيباته ولكن تكون كل مسامات حبيباته مملوءة بالماء.
- ركام رطب Moist Aggregate : يتميز هذا الركام بكون كل مسامات حبيباته مشبعة بالماء وبوجود غلاف مائي فوق السطح الخارجي للحبيبات.

لغرض الحصول على ركام خشن مشبع جاف السطح يغمر الركام الخشن في الماء لمدة 24 ساعة ثم يجفف الركام الخشن بقطع من القماش بحيث تختفي الأجزاء المنظورة من الماء . أما بالنسبة للركام الناعم فيغمر بالماء لمدة 24 ساعة ثم يعرض إلى تيار هواء دافيء بعد فرشة على سطح مستوي

الخواص الميكانيكية الأخرى للركام الخشن

إضافة إلى مقاومة الركام ، هناك خواص ميكانيكية أخرى ذات أهمية كبيرة وخاصة عند إستعمال الركام في إنشاء الطرق وتعرضه لمرور وسائل النقل والمعدات الثقيلة ومن هذه الخواص هي صلابة الركام toughness والتي يمكن تعريفها بمقاومة الركام للتهشم تحت تأثير الصدمات والرجات المفاجئة.

يمكن إختبار صلابة الركام عن طريق تعيين قيمة مقاومة التصادم وذلك تبعاً للمواصفة القياسية العراقية رقم 47 والمواصفة البريطانية (B.S812:1975) ويجرى هذا الفحص كما يلي

1. يمرر الركام من منخل مقاس 14 مم ويبقى على منخل مقاس10مم .
2. يجب أن يكون الركام مشبع جاف السطح.
3. كمية النموذج تكون كافية لعمل الفحص مرتين.

4. تملئ إسطوانة الجهاز المعدنية والتي ذات قطر داخلي 75 مم وإرتفاع 50 مم بالنموذج وبثلاث طبقات.

5. ترص كل طبقة بواسطة قضيب معدني ذو مقطع دائري قطره 10 مم وطوله 230 مم مدور من إحدى نهايتيه بمقدار 25 ضربة من إرتفاع لا يزيد عن 50 مم فوق سطح الركام.

6. 6. يوزن النموذج وليكن A.

7. 7. تثبت الأسطوانة المعدنية مع النموذج في جهاز فحص الصدمات.

8. 8. ترفع المطرقة الخاصة بالجهاز والتي يتراوح وزنها بين 13.5 – 14 كغم وتترك لتسقط على من إرتفاع قدره 380 مم ± 5 مم على سطح النموذج .

9. تكرر هذه العملية 15 مرة وبفترات لا تقل عن ثانية واحدة.

10.يرفع الركام وينخل على منخل مقاس 2.36 مم ويوزن الجزء المار منه إلى أقرب 0.1 غم ويعبر عنه بالوزن Bويوزن الجزء المتبقي عليه وإذا كان مجموعهما أقل من وزن الركام الأصلي بـ 1 غم فيعاد الفحص مرة أخرى.

11 . يطبق القانون التالي لحساب قيمة مقاومة التصادم:

$$\frac{B}{A} \times 100$$

12.تحدد المواصفة البريطانية (B.S 812:1975) القيمة القصوى لمقاومة التصدم احسب التالي:
30% عند إستعمال الركام في الخرسانة المستعملة كطبقة سطحية للطرق.
45% عند إستعمال الركام في الأعمال الخرسانية الأخرى.

بالإضافة إلى مقاومة وصلابة الركام تعتبر صلادة الركام hardness أو مقاومة التأكل من الخواص المهمة للخرسانة المستعملة في الطرق وفي سطوح الأرضيات المعرضة لمرور وسائل النقل الثقيلة ومن الممكن تعيين صلادة الركام بإجراء إختبار البري .

## مقاومة السحق

إن فحص نسبة التأكل أو السحق هو قياس لتأثر مجموعة الركام بالبلى والإندثار ويستعمل هذا الفحص للركام الداخل في صناعة خرسانة الطرق يتم هذا الفحص بإستخدام جهاز لوس أنجلس والذي يتكون

من إسطوانة فولاذية مجوفة مغلقة النهايتين قطرها الداخلي 70 سم وطولها الداخلي 50 سم مركبة على عمود قصير يرتبط بنهايتي الأسطوانة ولا يخترقهما بحيث يسمح للأسطوانة بالدوران بوضعها الأفقي.

تحتوي الأسطوانة على رف فولاذي وعدد من الكرات الفولاذية أما طريقة العمل فيوزن نموذج من الركام النظيف والمجفف بمقدار 5000 ومتدرج حسب المناخل التالية:

| ماراً من | متبقياً على | الوزن |
|---|---|---|
| 19.1 | 12.5 | 2500 ± 10 غم |
| 12.5 | 9.51 | 2500 ± 10 غم |

ويوضع في الأسطوانة مع الكرات ويدار الجهاز 500 دورة بسرعة 30 – 33 دورة بالدقيقة ثم ينخل النموذج على منخل أخشن من 1.7 ويوزن المتبقي على هذا المنخل ويطبق القانون التالي:

$$\text{النسبة المئوية للسحق} = \frac{\text{أ} - \text{ب}}{\text{أ}} \times 100$$

أ : الوزن الأصلي.

ب : الوزن بعد السحق.

يجب أن لا تتجاوز نسبة السحق 35% وإلا يعتبر النموذج فاشل في الفحص.

## تضخم الرمل Bulking of Sand

إن وجود الرطوبة على سطح الحصى يتطلب تصحيحاً لنسب الخلط الحقيقية للخلطة الخرسانية، إذ يجب تقليل وزن الماء المضاف إلى الخليط بقدر وزن الماء الحر الموجود على سطح الحصى وزيادة وزن الحصى بالكمية المطلوبة. أما بالنسبة للرمل فيوجد تأثير ثاني في حالة وجود رطوبة على سطوح حبيباته وهو الزيادة الحاصلة في حجم وزن معين من الرمل نتيجة لوجود طبقة رقيقة من الماء على سطوح حبيباته مما يجعلها تبتعد أو تندفع عن بعضها البعض ويعرف ذلك بالتضخم . وبالرغم من إن التضخم لا يؤثر بدرجة كبيرة على الكميات المحددة بالوزن فأنه يسبب نقصاناً في وزن الرمل عند تحديد كميات الخليط بالحجم، لهذا السبب فأن الخليط سيعاني من نقص في كمية الرمل مما يؤدي

إلى إنعزال مكونات الخلطة الخرسانية عن بعضها أو تأثيرات آخرى على خواص الخرسانة ويمكن علاج هذه الظاهرة بزيادة الحجم الظاهري للرمل بمقدار مساوي إلى تضخمه.

يعتمد المقدار الحقيقي لتضخم الرمل على النسبة المئوية للرطوبة الموجودة فيه وعلى نعومته. فالزيادة في الحجم نسبة إلى ذلك المشغول برمل مشبع وجاف تزداد بزيادة محتوى الرطوبة للرمل وإلى حد (5 %– 8 % ) إذ عندها يحصل تضخم في الرمل بين 20 % - 30 % وبعد تجاوز هذه النسبة لمحتوى الرطوبة فأنه بزيادة الماء تندمج الطبقات السطحية للماء المحيطة بحبيبات الرمل مع بعضها وتتحرك تحت تاثير وزنها عندما يصبح أكبر من قوة الشد السطحي للماء إلى داخل الفجوات الموجودة بين الحبيبات مؤدية إلى تقارب الحبيبات مع بعضها وبذلك يقل الحجم الكلي للرمل إلى أن يصل إلى حالة مشبعة وجافة السطح حينئذ يكون حجمه مساوي تقريباً إلى حجم الرمل الجاف المالئ لأسطوانة القياس بطريقة مماثلة. علماً أن الرمل الناعم يتضخم أكثر ويصل إلى الحد الأقصى للتضخم بمحتوى ماء أكثر من ذلك اللازم للرمل الخشن، وأن الرمل المتناهي النعومة قد يصل تضخمه إلى حد 40 % بمحتوى ماء قدره 10% ولكن هذا النوع من الرمل يكون غير صالح لصناعة خرسانة ذات نوعية جيدة.

## الأختبار البعدي

أختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي :

1. **لغرض تحسين قابلية تشغيل الخرسانة الطرية يتم إستعمال ركام :**

أ ) رقائقي Flaky ب ) مستطال Elongated

ج ) مستدير Round د ) غير منتظم Irregular.

2. **يعتبر الركام منقطع التسلسل إذا فقد :**

أ ) مقاس ب ) مقاسين متتاليين ج )مقاسين د )ثلاث مقاسات .

3. **المجاميع التي يكون سطح جزيئتها جافاً وتحوي مقداراً من الرطوبة للأمتصاص والخزن أقل من قابليتها للأمتصاص هي مجاميع :**

أ ) مجاميع جافة ب ) مجاميع جافة بالهواء

ج ) مجاميع مشبعة ذات سطح جاف  د ) مجاميع مشبعة ورطبة السطح

# الوحدة النمطية السابعة

# الاسبوع 19–22

الركام الخفيف

الركام الخفيف والثقيل: انواع الركام الخفيف

(الطبيعي والصناعي) Light weight agg.،

ميزات الركام الخفيف وسلبياته مقارنة بالركام العادي.

اعداد

كريم فاضل عبود

مدرس مساعد

# أهـــــــــــــــداف الوحـــــــــــــــدة

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على**

- **معرفة مختلف انواع الركام الخفيف.**
- **معرفة خواص الركام الخفيف.**
- **معرفة طرق الحصول على الخرسانة الخفيفة.**
- **معرفة فوائد الخرسانة الخفيفة.**

# الأختبار القبلي

**أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :**

1. **يعتبر وجود الفحم في الركام غير مرغوب فيه وذلك لأنه ينتفخ ويسبب تشقق الخرسانة.**

2. **وجود المواد الناعمة في الركام بكميات كبيرة تزيد من حاجة الخليط للماء بسبب نعومتها أو مساحتها السطحية العالية.**
3. **تواجد الطين في المواد المكونة للخرسانة يؤثر على متانة الخرسانة ويسبب الإنفصال في الخرسانة الطرية .**

# الركام الخفيف والثقيل

من أهم عيوب الخرسانة التقليدية هي الكثافة والتي تقدر بحدود ٢٢٠٠ -٢٥٠٠ كغم/م $^{٣}$ كمادة إنشائية بالمقارنة مع الخشب والحديد .ولذلك تم التفكير فى إنتاج وإستخدام خرسانة خفيفة وزنها أقل من ٢٠٠٠ كغم/م $^{٣}$ .ولذلك فقد أمكن تصنيع خرسانة إنشائية تزن ١٤٠٠ إلى ١٩٠٠كغم/م $^{٣}$ بزيادة بسيطة فى التكاليف .وعموماً فإن الخرسانة الخفيفة هى تلك التى يقل وزنها عن ٢٠٠٠كغم/م $^{٣}$ .والغرض من إستخدامها هو تقليل وزن المنشأ وبالتالى تقليل تكاليف الأسس وكذلك لأغراض العزل الحرارى والصوتى.

هناك ثلاث طرق للحصول على خرسانة خفيفة الوزن هي :

1. إستعمال ركام مسامي خفيف الوزن وذو وزن نوعي ظاهري قليل بدلاً من الركام الأعتيادي والذي يكون وزنه النوعي بحدود 2.6 وبصورة عامة تعرف الخرسانة المنتجة من هذا الركام بالخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن.

2. إستحداث فراغات كبيرة ضمن الكتلة الخرسانية أو الملاط. ومن الضروري تمييز هذه الفراغات بوضوح عن فراغات الهواء المقصود والتي تكون دقيقة جداً وتسمى هذه الخرسانة إستناداً على إسلوب إنتاجها مثل الخرسانة المهواة أو الخلوية أو الرغوية أو الخرسانة الغازية.

3. حذف الركام الناعم من الخلطة الخرسانية وبهذا سيتكون عدد من الفجوات كبير ويمكن زيادة الفجوات أما في الركام أو في الملاط أو في الفراغات البينية بين حبيبات الركام الخشن ويطلق على هذه الخرسانة بالخرسانة الخالية من الركام الناعم.

- تعتمد كثافة الخرسانة على نوع وتدرج المجاميع المستخدمة وعلى نسب الخلط وكمية الرص. يكون إستخدام الخرسانة الخفيفة مناسباً في الأعمال التي لا تستوجب تحميل الخرسانة بالأحمال وعلى سبيل المثال القواطع ، طبقات للتسطيح إنشاء المخازن المبردة وفي الأعمال الآخرى التي تستوجب العزل الحراري ويكون تحميل الأوزان على الخرسانة غير ضروري، فالخرسانة التي يكون كثافتها بين 800 – 950 كغم / م $^{٣}$ تتمكن من نقل الأحمال المسلطة عليها.

- بصورة رئيسية يستخدم الكلنكر والسلاك بالرغوة والطين المنتفخ والصخر الزجاجي المنتفخ كمجاميع في الخرسانة. الكلنكر والسلاك هما منتجات عرضية في أعمال إنتاج الأسمنت ومعامل الحديد.وكذلك يمكن إستخدام نشارة الخشب لإنتاج الخرسانة الخفيفة الوزن.

- والركام المستخدم فى الخرسانة الإنشائية الخفيفة هو فى أغلب الأحيان ركام صناعى .وصناعة الركام تعتبر أحد أجزاء التصنيع للخرسانة الخفيفة ومن أمثلة الركام الخفيف وكما موضح في الشكل أدناه :
- الطين الممد (الليكا)
- الفيرموكليت
- الفوم بوليسترين

## الفيرميكولايت

وهي تكون على شكل قشور فلزية شبيهة من حيث المظهر حيث أنها تتمدد وتتقشر بسرعة عندما تسخن، وبذلك تقل كثافتها بموجب طبيعتها الجديدة.

إن الفلز الخام الذي يستورد عادة من أمريكا أو من جنوب أفريقيا يجفف أولاً ثم يطحن ثم يصنف إلى درجات تبعاً للحجم.

عملية الفرز هذه تعمل حسب الطريقة القديمة المتبعة وهي التذرية في الهواء. وتمرر أصناف هذه المادة التي نتجت عن الفرز بسرعة من خلال أفران ساخنة حرارتها 1000 درجة مئوية تقريباً، وهذا يسبب التقشير لأن تشكل البخار يرغم الصفائح على الانفصال الجزئي وبالتالي يتضاعف الحجم الأصلي كثيراً وقد يصل إلى 30 ضعفاً تقريباً.

## خصائص الركام الخفيف
## Properties of Light Weight Aggregate

1. يجب أن تكون حبيبات الركام متجانسة من حيث التركيب والصفات.
2. يجب أن تكون حبيبات الركام ذات وزن نوعى منخفض.
3. يجب أن تكون حبيبات الركام ذات مقاومة مناسبة

4. يجب أن تكون حبيبات الركام ذات قدرة على التماسك مع حبيبات الأسمنت.
5. يجب أن تكون حبيبات الركام ذات مقاومة جيدة للعوامل الجوية.
6. يجب أن تحتوى الحبيبات على أكبر عدد ممكن من الفراغات الداخلية الصغيرة المنفصلة وعلى أقل عدد ممكن من الفراغات الكبيرة المتصلة.

## فوائد إستخدام الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن

1. الزيادة في العزل الحراري.
2. السهولة في القطع ودق المسامير.
3. أساس جيد لأعمال الإنهاء الخارجية والداخلية.
4. الخفة في المناولة لتسهيل إستخدام وحدات أكبر.
5. تقليل الوزن الكلي للمنشأ.
6. التخلص من خطورة الأملاح الكبريتية الموجودة في المجاميع الناعمة عادةً.

## مقارنة بين الركام الخفيف والركام الثقيل

| الركام الخفيف | الركام الثقيل |
| --- | --- |

| | |
|---|---|
| مسامية عالية | مسامية أقل |
| وزن نوعي منخفض | وزن نوعي أعلى |
| الكلفة العالية | منخفض الكلفة |
| مقاومة الأنضغاط للخرسانة المنتجة قليلة | مقاومة الأنضغاط للخرسانة المنتجة عالية |
| قابلية عزل حراري عالية | قابلية العزل حراري أقل |
| مقاومة البري قليلة | مقاومة البري أعلى |
| أغلب أشكاله زاوية | متعدد الأشكال |
| | |
| أغلب أنواعه خشن الملمس | مختلف الملمس |
| ينتج خلطات خرسانية ذات قابلية تشغيل واطئة | ينتج خلطات خرسانية ذات قابلية تشغيل جيدة |

# الأختبار البعدي

أختر الإجابة الصحيحة لكل مما يلي :

1. **كثافة الخرسانة العادية تقدر بـ :**

أ ) 2000-2500 كغم / م $^3$ ب )1800-2000 كغم / م $^3$

ج ) 200-250 كغم / م $^3$ د ) 3000-3500 كغم / م $^3$

2. **الوزن النوعي للركام الخفيف يقدر بـ :**

أ ) 2.9 ب ) 2.4 ج ) 2.6 د )3.0.

3. **أحد هذه الخصائص ليس من خواص الخرسانة الخفيفة الوزن :**

أ ) العزل الصوتي ب ) العزل الحراري

ج ) إنخفاض الوزن د ) التحمل العالي للأحمال.

# الوحدة النمطية الثامنة

# الاسبوع 23

استعمالات السيلكاsilica وبخار السيلكاsilica fume والرماد المتطايرfly ash في انتاج الخرسانة من حيث المواصفات والتأثيرات .

استعمالات السليكا

## أهـــــــــــــداف الوحـــــــــــــدة

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على أن :-**

- 📖 **يحدد خصائص وإستعمالات السليكا.**
- 📖 **يحدد خصائص وإستعمالات غبار السليكا.**
- 📖 **يحدد خصائص وإستعمالات الرماد المتطاير.**

# الأختبار القبلي

**أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :**

1. **يعتبر وجود الفحم في الركام غير مرغوب فيه وذلك لأنه ينتفخ ويسبب تشقق الخرسانة.**

2. **وجود المواد الناعمة في الركام بكميات كبيرة تزيد من حاجة الخليط للماء بسبب نعومتها أو مساحتها السطحية العالية.**

3. **تواجد الطين في المواد المكونة للخرسانة يؤثر على متانة الخرسانة ويسبب الإنفصال في الخرسانة الطرية .**

# السليكا

رمال السيلكا (رمال كوارتز) هي عبارة عن صخور رملية بيضاء نقية تحتوي على نسبة عالية من السيلكا، التي تتكون بشكل رئيس من حبيبات معدن الكوارتز وتحتوي على كمية قليلة من الشوائب والمعادن الثقيلة، في حين يطلق مصطلح الرمل الزجاجي على رمال السيلكا (الكوارتز) التي لها مواصفات فيزيائية وكيماوية تتناسب مع صناعة الزجاج.

# غبار السيليكا

تعرف هذه المادة في النصوص العلمية بغبار السيليكا المكثف ، السيليكا المجهرية ، غبار مداخن السيليكا والغبار المتطاير وهي منتج ثانوي في مصانع السيليكون أو خلائط السيليكون الحديدية . ويؤثر نوع الخليط المنتج وتركيب السيليكا المستخدم و الفحم بصورة كبيرة على التركيب الكيميائي لغبار السيليكا وللعلم ، فإن الممارسة الأولى لإستخدام غبار السيليكا ترجع لسنة 1952 في أسكندنافيا . وفي العام 1971 ، تم إستخدام غبار السيليكا في الخرسانة الإنشائية في النرويج للمرة الأولى . وأهم المميزت لغبار السيليكا التي جعلتها مناسبة للإستخدام في الخلطات الخرسانية يمكن تلخيصها بالتالي

- حبيبات هذه المادة ذات قطر أصغر مئة مرة من حبيبات الأسمنت البورتلاندي العادي ، ولذلك فهي تقوم بملئ الفراغات بين حبيبات الأسمنت البورتلاندي ، كما يملأ الرمل الفراغات بين حبيبات الركام الخشن .
- يزيد الشكل الكروي لحبيبات غبار السيليكا من تأثير الإنزلاق في الأسمنت مما يزيد من التأثير الفيزيائي لغبار السيليكا على الخرسانة لإنتاج خرسانة كثيفة ومتماسكة . وتزداد هذه التأثيرات بسبب الوزن النوعي المنخفض لغبار السيليكا ، مما يزيد من حجم العينة الأسمنتية مئدياً إلى تقليل الفراغات .
- حبيبات السيليكا الزجاجية ( غير المتبلورة ) تزيد من قابلية تفاعل غبار السيليكا مع الأسمنت البورتلاندي العادي.
- وأخيرا فإن المحتوى العالي للسيليكا ( في حدود 90 % على الأقل) في غبار السيليكا يجعلة مادة بوزولونية ممتازة

( Super-pozzolan )

ونظرا لهذه الخواص المتميزة لغبار السيليكا ، فإن التفاعل البوزولوني غالبا ما يبدأ خلال 24 ساعة منتجا كميات كبيرة من سيليكات الكالسيوم المائية الثانوية ومحسنا بصورة ملحوظة التركيبة المجهرية لعجينة الأسمنت. كما أن إستخدام غبار السيليكا في الخرسانة يقلل من تجمع المياه النازفة تحت حبيبات الركام وقضبان الحديد والتي تقلل من مسامية المنطقة الإنتقالية مما يؤدي إلى زيادة قوة الضغط وزيادة قوة الترابط بين العجينة الأسمنتية الصلدة والحصى والحديد ومقاومة الصدأ في حديد التسليح .

## التركيب الكيميائي لغبار السيليكا

يبلغ محتوى السيليكا ( ثاني أكسيد السيليكون ) نسبة تتراوح بين 85 % إلى 95 % من وزن غبار السيليكا ما يعني أن غبار السيليكا يتواجد بمحتوى سيليكا عال . ولكن يجب عدم الخلط بينة وبين دقيق السيليكا ( 99.9 % ) . ولم يتم قبول إستعمال هذه المواد الأخيرة في صناعة الخرسانة حتى الوقت

الحالي. ويتميز التركيب الكيميائي لغبار السيليكا بأن الفرق في الحرق يقل عن نسبة 5 % من الوزن حيث أن المدى المعتاد ما بين 1 % و 4 % . كما يقل محتوى الجير ( CaO ) عن نسبة 2 % من الوزن. ويبلغ محتوى الكلورايد أقل من نسبة 0.04 % . أما محتوى القلويات الكلي في غبار السيليكا فلا يزيد عن 1.5 % . ويبلغ مدى المركبات الأخرى مثل( $Al_2O_3$ ,$Fe_2O_3$ ,MgO أقل من2 % .

تتراوح الكثافة الكلية لغبار السيليكا المنتج طبيعيا ما بين 250 إلى 200 كغم/م$^3$ . وعند إستخدام وسيلة ميكانيكية تزداد الكثافة القصوى المصرح بها إلى 600 كغم/م$^3$ . ويمكن زيادة الكثافة إلى أكثر من ذلك إلا أنه من الصعب تفكيك حبيبات غبار السيليكا أثناء صب الخرسانة ، مما يقلل من فاعلية غبار السيليكا

# خواص غبار السيليكا

معظم مواد غبار السيليكا المستخدمة حاليا ذات لون رمادي إلى رمادى قاتم . وتعزى هذه القتامة لمحتوى الكربون والحديد الزائد . وقد يختفي هذا اللون القاتم بعد فترة الإنضاج المطولة بسبب التجفيف وربما بسبب الكربنة . وتؤثر مادة غبار السيليكا على الكثير من الخواص الخرسانية اللدنة والصلدة ، كما سيتم توضيحه في الفقرات التالية .

**تأثير غبار السيليكا على خواص الخرسانة الصلدة**

- قوة الضغط : تزداد قوة الضغط في الخرسانة المحتوية على غبار السيليكا بسبب ملئ الفراغات ونظرا للخواص البوزولونية الممتازة ولكن هذا التأثير يعتمد على عدة عوامل مختلفة مثل :
  - نوعية غبار السيليكا
  - نسبة الماء للأسمنت
  - كمية الأسمنت
  - نوع الأسمنت
  - نوع وجرعة الملدنات
  - ظروف الإنضاج وعمر الخرسانة .
- الحاجة الزائدة للماء : نظرا لأن غبار السيليكا يملأ الفراغات بين حبيبات الأسمنت البورتلاندي الكبيرة فإن ذلك يؤدي إلى تقليل الحاجة للماء في خرسانة أسمنت غبار السيليكا . كما ان درجة النعومة العالية لحبيبات غبار السيليكا تؤدي إلى زيادة الحاجة للماء أكثر من التقليل السابق . وتزداد هذه الحاجة للماء عند زيادة محتوى غبار السيليكا عن 5 % من وزن الأسمنت البورتلاندي العادي ولذلك لابد من إستخدام الملدنات القوية لتقليل حاجة الخرسانة للماء.

- نزف الماء : ( Bleeding ) نظرا لنعومة غبار السيليكا الفائقة الدقة وقدرتها على سد الفراغات بين حبيبات الأسمنت فإن خرسانة غبار السيليكا دوما تظهر نزفا أقل من ذلك الناتج في خرسانة الأسمنت البورتلاندي العادي لأن حبيبات غبار السيليكا تلصق نفسها بحبيبات الأسمنت وبذلك تقلل من قنوات النزف تاركه كمية قليلة جدا من الماء الحر في الخرسانة اللدنة للنزف . كما أن قابلية إمتصاص حبيبات غبار السيليكا العالية للماء تؤدي إلى تقليل محتوى الماء المؤثر في الخلطة الخرسانية فينعدم تقريبا نزف الماء عندما يزداد محتوى غبار السيليكا عن % 7.5من وزن الأسمنت.

التشغيل : ( Workability ) من المعلوم أن خرسانة أسمنت غبار السيليكا تكون أكثر تماسكا ومقاومة للإنفصال الحبيبي نتيجة لزيادة عدد نقاط الحبيبات . كما يعاني أسمنت غبار السيليكا من فقد الهبوط بسرعة ولذلك يجب المحافظة على هبوط أولي أعلى من هبوط خرسانة الأسمنت البورتلاندي العادي للمحافظة على اللدانة ( أو التشغيل ) المطلوبة لفترة طويلة

- الهواء المدخل : ( Entrained Air ) بسبب مساحة السطح الكبيرة لغبار السيليكا فإن جرعة الهواء المدخل المطلوبة لإدخال حجم معين من الهواء داخل الخرسانة يزداد خطيا بزيادة جرعة غبار السيليكا خاصة في الخرسانة ذات نسبة ماء-أسمنت قليلة . كما أن وجود الكربون في غبار السيليكا يزيد من كمية الحاجة للهواء المدخل.

- الإنكماش اللدن : بما أن الخرسانة اللدنة المحتوية على غبار السيليكا تكون قليلة النزف جدا ولا تسمح للماء بالصعود إلى السطح فإن خطر تشققات الإنكماش اللدن أعلى بكثير في هذه الخرسانة . ولذلك لابد من حماية هذه الخرسانة من هذه المشكلة الأساسية خاصة أثناء فترة التماسك للخرسانة وذلك بإنضاج الخرسانة بالماء فورا بعد صبها مباشرة.

- حرارة التميؤ : رغم أن المواد البوزولونية تساعد على إنقاص حرارة التميؤ ، مثلما ذكرنا سابقا إلا إن إضافة غبار السيليكا للأسمنت البورتلاندي العادي يسرع من رفع درجة الحرارة خلال الأيام الثلاثة الأولى من عمر الخرسانة . لذلك لا يجوز إستخدام هذا النوع من الخرسانة في المنشآت السميكة كالسدود مثل حدوث التشققات الحرارية . كما يجب ملاحظة أن الإرتفاع الكلي في درجة الحرارة في أعمار متقدمة لخرسانة غبار السيليكا أقل من تلك التي تحدث في خرسانة الأسمنت البورتلاندي العادي . لذلك فإن الأجزاء الإنشائية السميكة لابد لها من المعالجة المثلى لتخفيف هذا الإرتفاع في درجة الحرارة أثناء الفترة الأولية بعد الصب.

# رماد الوقود الناعم المتحجرFly Ash

إن الرماد المتجمع من غازات مداخن محطات الطاقة الكهربائية الحديثة التي تستعمل الوقود الناعم يعرف بالرماد المتطاير والذي يتكون من جسيمات زجاجية كروية دقيقة وناعمة جداً وقد تكون أنعم من الإسمنت. هذا المنتج يكون مبللاً بالماء وممزوجاً بفحم رطب ضمن خلاطات لولبية، يدخل بعدئذ ضمن أوعية دوارة (تعرف باسم المدحرجات) حيث يخرج منها على شكل حبيبات كروية ومن ثم يتعرض إلى درجة حرارة 1400° مئوية تقريباً مما يتسبب في تراكم جسيمات الرماد دون أن تذوب بالكامل لتتشكل منها بالتالي حصى خفيف الوزن.

الرماد المتطاير أحد أكثر المواد البوزولانية استخداماً في العالم. وهي مواد من السيليكا، أو السيليكا والالومينا معاً، والتي لاتمتلك خواص أسمنتية في ذاتها، ولكن في وجود الماء تتفاعل مع هايدروكسيد الكالسيوم في درجة الحرارة العادية لتعطي مركبات تمتلك الخواص الاسمنتية. الرماد المتطاير يتكون من الجزء غير المحترق (غير المستهلك) عند حرق الفحم الحجري في أفران إنتاج الطاقة يتم استهلاك الكربون وتبقى حبيبات معدنية ناعمة غنية بالسيليكا، الالومينا و الكالسيوم.هذه الحبيبات تتصلب على شكل كرات زجاجية دقيقة جداً، تجمع من ماسورة عادم الفرن قبل أن تطير بعيداً لذلك سمي هذا المنتج الرماد المتطاير

## الخواص الميكانيكية للرماد المتطاير :

- 🕮 حبيبات الرماد المتطاير ناعمة جداً لذلك فهي فعالة جداً في ملئ فراغات الخرسانة مما يحسن من تشغيلية الخلطة الخرسانية .
- 🕮 حبيبات الرماد المتطاير صلبة ومستديرة مما يجعل لها سلوك كروي الذي يسمح بانتاج خرسانة باستخدام كمية أقل من الماء مما يحسن من تشغيلية الخلطة الخرسانية.(الرماد المتطاير يمكن أن يقلل 1-3 غالون ماء لكل متر مكعب خرسانة .

## الخواص الكيميائية للرماد المتطاير :

عند عملية إماهة الأسمنت، يتكون هيدروكسيد الكالسيوم.حوالي 20% من وزن الأسمنت يتحول إلى هيدروكسيد الكالسيوم الذي لا يكسب الخرسانة صفة المقاومة.

٠عند إضافة مادة الرماد المتطاير تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم(الجير) ليكونا مركب أسمنتي (كالسيوم سيليكات هايدرات) الذي هو يعتبر من أهم مكونات الخرسانة والذي يكسبها القوة والديمومة عبر الزمن.

## نوعية الاسمنت المصنع من الرماد المتطاير الناتج عن احتراق الفحم
## Portland Fly Ash Cement

هده النوعية من الاسمنت تنتج باستخدام الرماد المتطاير لاحتراق الفحم في محطات القوى و تنتج بكميات عالية و نسبة سنوية حالية تصل الى 650 مليون طن. و نسبة الخرسانة المصنعة في العالم و التي تستخدم الرماد المتطاير تصل الى 10%. و تعتبر مادة الرماد المتطاير مادة فاعلة في عملية تماسك الخرسانة و تضاف الى الاسمنت كمادة بديلة بنسبة تتراوح ما بين 20 الى 35% من الوزن الاجمالي للاسمنت المصنع. و تتوفر في هده النوعيات من الاسمنت خواص مطلوبة مثل مقاومتها لهجمات الكلورايد و الكبريتات للخرسانة.

## الأختبار البعدي

**أجب بكلمة صح أو خطأ على العبارات التالية مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل ما يلي :**

1. **السيلكا هي عبارة عن صخور رملية متعددة الألوان نقية تحتوي على نسبة عالية من السيلكا .**
2. **تقل مقاومة الإنضغاط في الخرسانة المحتوية على غبار السيليكا .**

**خرسانة غبار السيليكا دوما تظهر نزفا أعلى من ذلك الناتج في خرسانة الأسمنت البورتلاندي العادي**

# الوحدة النمطية التاسعة

# الاسبوع 24

## الماء المستعمل في إنتاج الخرسانة

## (ماء الخلط،ماء الانضاج)

**ب- الفئة المستهدفة (Target Population):-**

طلبة المرحلة الاولى في قسم التقنيات المدنية فرع بناء وانشاءات في هيئة التعليم التقني .

**بـ - أهداف الوحدة :-**

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على:-**

1.معرفة أنواع المياة المستعملة في عملية خلط الخرسانة.

2.معرفة أهم الخواص للماء المستعمل في خلط الخرسانة.

3.معرفة كيفية تحديد مدى صلاحية الماء للخلط،واستبعاد المياة الغير صالحة.

4.معرفة نوعية المياة المستعملة في عملية الانضاج للخرسانة.

# الأختبار القبلي

أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :

1.حبيبات الرماد المتطاير ناعمة جداً لذلك فهي فعالة جداً في ملئ فراغات الخرسانة مما يقلل من قابلية تشغيل الخلطة الخرسانية .

2. المواد البوزولونية تساعد على زيادة حرارة التميؤ .

3. يجب إنضاج خرسانة غبار السليكا مباشرةً بالماء بعد الصب .

## الماء المستعمل في إنتاج الخرسانة

نوعية الماء مهمة وذلك لان وجود الشوائب والاملاح في الماء المستخدم في الاعمال الخرسانية يؤثر على:ـ

ـ عملية تجمد الاسمنت

ـ تقليل المقاومة

ـ وجود الأملاح بنسبة عالية تسبب تاكل حديد التسليح وتزهر الخرسانة

أنواع الماء المستخدم في الأعمال الخرسانية:ـ

يقسم الماء المستخدم في الاعمال الخرسانية الى نوعين رئيسين:ـ

1ـ ماء الخلط Mixing Water

يمثل ماء الخلط أحد العناصر الهامة والأساسية في الخرسانة حيث يقوم بالوظائف الرئيسية التالية:ـ

1) يعمل على إماهة الإسمنت Hydration وتفاعله مكونا عجينة الإسمنت التي تعتبر المادة الفعالة في الخرسانة والتي تعمل على تماسك حبيبات الركام.
2) يعمل على ترطيب الركام بحيث يمتصه ليكون الالتصاق بينه وبين الاسمنت جيدا.
3) إعطاء الخليط المؤلف من الركام الناعم والخشن والاسمنت درجة مناسبة من الليونة تساعده على التشغيل والتشكيل.

ويؤخذ ماء الخلط في العادة على هيئة نسبة بين الماء والاسمنت.لذا فإن كمية الماء اللازمة للتفاعل الكيميائي مع الاسمنت تتراوح بين 25ر0 الى30ر0 من وزن الاسمنت. وإذا استعملت تلك الكمية فإنها تعطي خرسانة طازجة جافة جدا

وبالتالي تكون صعبة التشغيل.فلذلك يلزم إضافة كمية ماء اخرى(أو اضافة الملدنات)لتسهيل عملية الخلط والصب والرص،على أن تكون باقل كمية ممكنة نظرا لأن زيادة الماء في الخلطة الخرسانية تؤدي الى ضعف مقاومتها للأحمال.

خواص ماء الخلط:

- الماء الصالح للشرب هو صالح لخلط الخرسانة الاعتيادية والخفيفة الوزن.
- المواد الصلبة الذائبة تحدد بـ 1000ppm ولاتزيد عن 2000ppm.
- عندما يكون محتوى الغرين أكثر من 2000 ppm فيجب ترك الماء في خزان الترسيب قبل استعماله.
- ماء غسل الخلاطات يعتبر مناسبا للخلط لان المكونات الصلبةفيه هي من الخرسانة
- الماء الصالح للشرب قد لايكون صالحا لخلط الخرسانة إذا احتوى على تركيز عالي من الصوديوم والبوتاسيوم.
- بشكل عام PH (المقياس الحامضي)للماء الصالح للخلط يكون بين (8-6)والذي لايكون ذا مذاق حامضي يعتبر صالح للخلط.
- اللون الغامق للماء لايعني بالضرورة احتواءه على مواد ضارة.

ماء البحر

في بعض الاقطار هنالك صعوبة في الحصول على المياة العذبة فيؤخذ ماء البحر بنظر الاعتبار عند عدم توفر الماء الصالح للشرب ويستخدم كماء لخلط الخرسانة على ان تتوفرفيه الشروط التالية:ـ

- مياه البحرتكون صالحة للخلط عندما لاتتجاوز ايونات الكلوريدات 500ppm وايونات الكبريتات 1000ppm.
- درجة الملوحة لماء البحر بحدود3.5% .
- ماء البحر يؤدي الى ارتفاع قليل بالمقاومة المبكرة وانخفاض كبير على المدى البعيد ولكن الانخفاض يجب أن لايتجاوز 15% لذلك يمكن التسامح في استخدامه.
- زمن التجمد باستعمالماء البحر غير معروف بدقة ولكن يسمح بفرق 30min في زمن التجمد الابتدائي.
- ماء البحر بسبب احتواءه على كميات كبيرة من الكلوريدات تسبب رطوبة وتزهر مستمرين كما يعرض حديد التسليح الى مخاطر التاكل.
- عندما يكون المنشأ الخرساني مغمور في الماء فأن ماء البحر لايشكل خطورة على المنشأ.

2ـ ماء المعالجة Curing Water

- الماء الصالح للشرب يكون صالح لمعالجة الخرسانة.
- يجب ان يكون خالي من اي مادة تهاجم الخرسانة كالاملاح والحوامض.

فحوصات الماء Water Test

1. المقياس الحامضي (PH)
2. التجمد مقارنة زمن التجمد للاسمنت باستعمال الماء المشكوك فيه والماء الصالح للشرب .
3. المقاومة مقارنة مقاومة انضغاط مكعبات مونة الاسمنت باستعمال الماء المشكوك فيه مع مقاومة انضغاط المكعبات باستعمال ماء صالح للشرب وتسمح المواصفات البريطانية تذبذب بحدود10%

## الأختبار البعدي

أملئ الفراغات التالية بما يناسبها:

1. يقسم الماء المستعمل في الخرسانة إلى ---------- و ----------.
2. يمكن إستعمال ماء البحر بدرجة الحرارة الإعتيادية وبتركيز أملاح ------
3. إن بعض المواصفات تحدد قبول الماء المطلوب فحصه والمستعمل في الخرسانة الذي يؤدي إلى خفض قوة التحمل الإنضغاطية بحدود------ ------ % بموجب مواصفات البريطانية.

# الوحدة النمطية العاشرة

# الاسبوع 25

**الألياف المستعملة في الخرسانة .**

(الانواع ،المواصفات)

## اهداف الوحدة

**سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على أن :-**

- 🕮 **يحدد أنواع الألياف المستعملة في الخرسانة .**
- 🕮 **يحدد مواصفات الألياف المستعملة في الخرسانة.**

## الأختبار القبلي

أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :

1. يؤثر الماء المستعمل في إنضاج الخرسانة على مقاومة الإنضغاط للخرسانة إذا إحتوى على الدهون والأملاح .

2. يمكن إستعمال ماء البحر بدرجة الحرارة الإعتيادية وبتركيز أملاح 50% في الخلطات الخرسانية .

3. إن بعض المواصفات تحدد قبول الماء المطلوب فحصه والمستعمل في الخرسانة الذي يؤدي إلى خفض قوة التحمل

بموجب مواصفات الـ

## نبذة عن الألياف المستعملة في الخرسانة

من المعروف أن قدماء المصريين أول من عرفوا الزجاج وأمكنهم صهره ولكنهم لم يستعملوه كمادة مضافة لمواد البناء ،و لكنهم كانوا أول من فكر بإضافة قش القمح (التبن) إلى الطين لمعالجة التشققات الناتجة عن الأنكماش وهي نفس الفكرة التي بني عليها تصنيع الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية بعد أن استبدل الطين بالاسمنت والرمل والتبن (كمادة رابطة) بالألياف الزجاجية بدأ استخدامها في الاتحاد السوفيتي خلال الفترة (1950- 1960) ثم بدأت الدراسات الأكاديمية الأولى للمعالجة والتطور عام 1961 ومع الوقت بدأت أبحاث إنتاج الألياف الزجاجية في الولايات المتحدة عام1971 وتم إنتاجها عام 1979بإضافة مادة مغلفة لها لإعطائها حماية أكبر من التآكل في إطار تطوير صناعة الخرسانة تم إنتاج الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية في القرن 20 لتكون البديل عن مواد الاكساء الكلاسيكية والطبيعية كالحجر والرخام وغيره وليساهم بشكل عام في الإنشاء العصري اقتصاديا وتقنيا وجماليا في جميع أنحاء العالم و هي في تطور منذ أكثر من 30 عاما

## خرسانة الألياف Fibers Concrete

وهى الخرسانة المصنوعة من الأسمنت والركام وعدد من الألياف غير المستمرة و موزعة توزيعاً عشوائياً فى جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية وتنقسم الألياف إلى قسمين رئيسيين من حيث النوع :

1. ألياف الصلب وهى قطع من الصلب بطول 3 إلى 8 سم وقطر من 0.5 إلى 0.8 مم وكما هو موضح في الشكل أدناه:
2. الألياف الصناعية مثل ألياف البولى بروبلين والبوليستر والبوليثيلين والأكريلك والياف الفيبر جلاس التي تتميز بمقاومة عالية للقلويات و المواد الكيماوية بصفة خاصة مما يجعلها مناسبة للاستعمال مع الخلطات الاسمنتية و الخلطات الجبسية وتأخذ نفس شكل ألياف الصلب ولكنها مصنعة من مواد صناعية.

والألياف لها القدرة على تحسين مقاومة الخرسانة فى القص والشد والانحناء والصدم والانكماش .كما أنها تعمل على تقليل اتساع التشققات وإعادة توزيعها كما هو موضح في الشكل أدناه:

ولكن الألياف لا تؤثر بدرجة كبيرة على مقاومة الضغط .وأهم وظيفة للألياف أنها تزيد من قيمة معاير المتانة للمادة زيادة كبيرة جداً . لذا فأن الألياف تحول ميكانيكية الكسر فى الخرسانة من كسر قصف مفاجئ وخطر Dangerous Sudden Failure إلى كسر غير قصف وتدريجي Ductile Failure وزيادة معاير المتانة Toughness وتستخدم الخرسانة الليفية على نطاق واسع فى الطرق والمطارات والمنشآت العسكرية وقواعد الماكينات .كما تستخدم فى الأسقف القشرية ومناطق الاتصال بين الجسر والعمود .وتستخدم الألياف أيضاً فى انابيب المجاري الخرسانية والوحدات سابقة الصب وفى العناصر الخرسانية المعرضة لقوى القص والصدم .وبالرغم من أن الألياف تزيد من مقاومة قوى الشد فى الانحناء إلا أن هذه الزيادة غير جديرة بالاعتبار وبالتالى فإنه ليس من الحكمة أن تستخدم الألياف كبديل كلى أو تعويضى لحديد التسليح.

## مميزات الخرسانة المسلحة بالألياف الزجاجية

1. تعتبر إحدى المواد الأكثر طواعية المتوفرة للمهندسين والمعماريين
2. هي عملية لإعادة الإنتاج والترميم وذات جمالية عالية صديقة للبيئة.
3. تخفف الحمولات على الأبنية بعوامل أمان كبيرة كالهياكل الضخمة والأساسات.
4. يمكن تلوينها بالصباغات والدهانات
5. الاكساء بواسطتها يمكن أن يحل محل الخرسانة مسبقة الصنع عندما تكون هناك مشكلة في الوزن والشكل
6. يمكن تشكيل منتجاتها بمقاطع رقيقة بسمك(6-12)مم ليكون وزنها اقل بكثير من وزن منتجات الخرسانة مسبقة الصنع المماثلة بالحجم
7. سهلة التصنيع والقولبة لإنتاج الأشكال والتفاصيل الدقيقة كما تعطي اللمس المطلوب للسطوح النهائية بأفضل نوعية.
8. مقاومتها للتآكل والظروف الجوية الخارجية من حرارة ورطوبة وخاصة الأجواء البحرية
9. عازلة للحرارة والصوت وتتسم بمقاومة عالية للحريق وتسرب المياه

10. عمرها الزمني لا يقل عن 4 أضعاف العمر الزمني للخرسانة المسلحة وذلك من خلال مواصفاتها الفيزيائية والكيميائية العالية
11. غير قابلة لتكاثر الحشرات ونمو الفطريات والمكروبات.
12. تتحمل إجهاد كسر يصل إلى 3 أضعاف الخرسانة المسلحة نتيجة للتوزيع المنتظم للتسليح الداخلي للألياف الزجاجية في مختلف الاتجاهات.
13. مقاومة شديدة للصلابة والاحتكاك

## الأختبار البعدي

أملأ الفراغات التالية بما يناسبها:

1. تقسم الألياف المستعملة في الخرسانة إلى ---------- و ----------.
2. ---------- هى الخرسانة المصنوعة من الأسمنت والركام وعدد من الألياف غير المستمرة و موزعة توزيعاً عشوائياً فى جميع الاتجاهات خلال الكتلة الخرسانية .
3. يمكن تشكيل خرسانة الألياف بمقاطع رقيقة بسمك ---------- مم .

# الاسبوع 26–30

# المضافات

## اهداف الوحدة

سيكون الطالب بعد دراسته لهذه الوحدة قادراً على

1. **معرفة أنواع الإضافات.**
2. **معرفة مجال استخدامات الإضافات .**
3. **معرفة التركيب الكميائي للاضافات.**
4. **معرفة ميكانيكية عمل الاضافات.**

**.5**

# الأختبار القبلي

أجب بكلمة صح أو خطأ مع تصحيح الخطأ أن وجد لكل مما يلي :

1. الخرسانة المسلحة بألياف الزجاج تتحمل إجهاد كسر يصل إلى 3 أضعاف الخرسانة المسلحة الأعتيادية.
2. الألياف تحول ميكانيكية الكسر فى الخرسانة من كسر غير قصف وتدريجي إلى كسرقصف مفاجئ وخطر.
3. تتصف الألياف الصناعية بالمقاومة العالية للقلويات والمواد الكيمياوية.

# المواد المضافة للخرسانة ADMIXTURES

تتركب الخرسانة من الركام والاسمنت وماء الخلط وفي بعض الاحيان تستخدم بعض الاضافات الكيميائية بغرض تحسين بعض الصفات المعينة في الخرسانة. وفي هذا الباب سنتناول ببعض التفصيل الاضافات الكيميائية من حيث انواعها ووظائفها وخصائصها وكيفية الاستفادة منها.

**1. التعريف**

الاضافات هي مواد – غير الركام والاسمنت والماء – تضاف الى الخلطة الخرسانية اثناء عملية الخلط بكميات صغيرة جداً بغرض اعطاء الخرسانة الطرية او الخرسانة المتصلدة خواص معينة مطلوبة مثل :

- تحسين القابلية للتشغيل للخرسانة الطرية دون زيادة ماء الخلط.
- التعجيل او التأخير من التجمد.
- تقليل معدل فقد الهبوط للخرسانة.
- تحسين القدرة على ضخ الخرسانة.
- الحد من حدوث الانفصال الحبيبي.
- زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.
- الحصول على خرسانة عالية المقاومة.
- تحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البري.
- الحصول على خرسانة غير منفذة للماء او خرسانة خلوية او خرسانة ذات صفات خاصة.

## 2. الاشتراطات العامة المطلوبة عند استخدام الاضافات

1- يجب ان لا تؤثر تاثيراً ضارا على الخرسانة او حديد التسليح.
2- ان تتناسب الفوائد الناتجة من استخدام الاضافات مع الزيادة في التكاليف.
3- يجب عدم اضافة كلويد الكالسيوم او الاضافات التي اساسها من الكلوريدات بتاتاً الى الخرسانة المسلحة او الخرسانة سابقة الاجهاد او الخرسانة التي بها معادن مدفونة.
4- يجب التاكد من مدى ملائمة وفاعلية أي من الاضافات بواسطة خلطات تجريبية.
5- اذا استخدم نوعين او اكثر من الاضافات في نفس الخلطة الخرسانية فيلزم ان تتواجد معلومات كافية لبيان مدى تداخلهما او التأكد من مدى توافقهما.

6- يراعى ان سلوك الاضافات مع الاسمنتات المخلوطة او عالية المقاومة للكبريتات يختلف عنه في حالة الاسمنت البورتلاندي . لذلك يجب ان تتوافر معلومات كافية عن مدى الادائية السليمة للاضافات مع الانواع المختلفة من الاسمنت.

7- يلزم توريد الاضافات معبأة داخل براميل او اوعية محكمة الغلق ومطبوع عليها الاسم التجاري وتاريخ الانتاج ومدة الصلاحية وكذلك شهادة بخواص الاضافة الموردة ومطابقتها للمواصفات القياسية ذات الصلة. كما يجب تخزين الاضافات بطريقة تحميها من الرطوبة ومن اشعة الشمس والحرارة.

# 3. أهم الأنواع الشائعة من الإضافات

يوجد العديد من الاضافات الكيميائية التي تستخدم مع الخرسانة ويمكن تقسيمها الى المجموعات الاتية :

1- اضافات تخفيض الماء والتحكم في التجمد (سبعة أنواع).
2- اضافات الهواء المقصود.
3- اضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة.
4- اضافات لمقاومة اجتراف الاسمنت بفعل الماء.
5- اضافات لتلوين الخرسانة.
6- اضافات اخرى متنوعة.

## 1.3 إضافات تخفيض الماء والتحكم في التجمد

**Water Reducing Set Controlling Admixtures (ASTM C494)**

وهذه الإضافات هي أهم وأكثر أنواع الإضافات استخداماً وشيوعاً في مجال الخرسانة وهي تختص بتقليل ماء الخلط (بدرجات متفاوتة) والتحكم في تصلب الخرسانة بالتاخير او التعجيل. وتنقسم هذه المجموعة الى سبعة انواع مختلفة وتميزها المواصفات الامريكية ASTM C494 بالحروف من A الى G كما يلي :

1- اضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة ASTMC494-Type A

2- اضافات تأخير التجمد ASTMC494-Type B

| | |
|---|---|
| 3–اضافات تعجيل التجمد | ASTMC494-Type C |
| 4–اضافات تخفيض ماء الخلط وتأخير التجمد | ASTMC494-Type D |
| 5–اضافات تخفيض ماء الخلط وتعجيل التجمد | ASTMC494-Type E |
| 6–اضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة بدرجة عالية | ASTMC494-Type F |
| 7–اضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة بدرجة عالية وتأخير التجمد | ASTMC494-Type G |

وكما نرى فان الانواع السبعة السابقة بهذه المجموعة من الاضافات ينحصر تأثيرها في واحد او اكثر من التأثيرات الثلاث الرئيسية الاتية :

| | |
|---|---|
| 1– تخفيض ماء الخلط (الملدنات والملدنات الفائقة) | ASTMC494-Type A,F |
| 2– اضافات تأخير التجمد –المبطئات– | ASTMC494-Type B |
| 3–اضافات تعجيل التجمد –المسرعات– | ASTMC494-Type C |

فنجد مثلاً ان النوع D عبارة عن مزيج من النوعين A,B

اما النوع E عبارة عن مزيج من النوعين A,C

في حين نجد ان النوع G عبارة عن مزيج من النوعين F,B

وفيما يلي شرح موجز للانواع الرئيسية من هذه المجموعة

## اولاً : مخفضات الماء (الملدنات والملدنات الفائقة)

**Plssticizers and Superplasticizers ASTMC494-Type A&F**

توجد الملدنات (البلاستسيزر) والملدنات الفائقة (السوبربلاستسيزر) عموماً في حالة سائلة وتضاف الى الخلطة الخرسانية بنيبة تتراوح من 1% الى 3% من وزن الاسمنت وهي اكثر واهم انواع الاضافات

استخداما وشيوعاً وقد وجدت بنسبة 3% من الملدنات الفائقة تعطى افضل النتائج. وتوجد الملدنات في السوق تحت اسماء تجارية عديدة منها ادكريت – كونبالاست – سيكامنت – ملمينت ... الخ والفرق بين النوعين F,A هو ان درجة تخفيض ماء الخلط بالنسبة للنوع A (الملدنات) تتراوح من 6 الى 12% عند ثبات قوام الخلطة الخرسانية. اما بالنسبة للنوع F (الملدنات الفائقة) فان درجة تخفيضها للماء تزيد عن 12% وقد تصل الى 30% عند نفس قوام الخلطة الخرسانية.

## وظيفتها

1- تحسين خواص الخرسشانة الطرية وذلك بزيادة القابلية للتشغيل وزيادة السيولة مع ثبات نسبة (الماء / السمنت) كما في (شكل 1).
2- الحصول على خرسانة ذاتية الرص.
3- تحسين خواص الخرسانة المتصلبة وذلك بتخفيض نسبة (W/C) في الخلطة مع ثبات درجة القابلية للتشغيل وبالتالي الحصول على خرسانة عالية المقاومة (شكل 2).
4- الحصول على خرسانة ذات مقاومة مبكرة عالية (شكل 3).
5- الحصول على خرسانة عالية الاداء قليلة النفاذية.
6- الحصول على خرسانة ذات انفصال حبيبي او نضح وقليل.

## طبيعة الملدنات

الملدنات (A) والملدنات الفائقة (F) عبارة عن مواد بوليمرية تاخذ تركيبات كيميائية متنوعة من اهمها :

**الأساس الكيميائي للنوع A**

- لجنوسلفونيت Ligno - Sulfonate
- احماض الهيدروكاربوكسيل اسيد Hydroxycarboxylie Acids
- كربوهيدرات Carbohydrates

**الأساس الكيميائي للنوع F**

- لجنوسلفونيت معدل Modified Ligno-Sulfonate
- ميلامين فورمالدهيد Melamine Formaldehyse
- نفثالين فورمالدهيد Naphthaline Formaldehyse
- فينول فورمالدهيد Phenol Formaldehyde
- ناتج تكثيف بتا نفثالين سلفونيت Beta-naphthaline Sulfonate

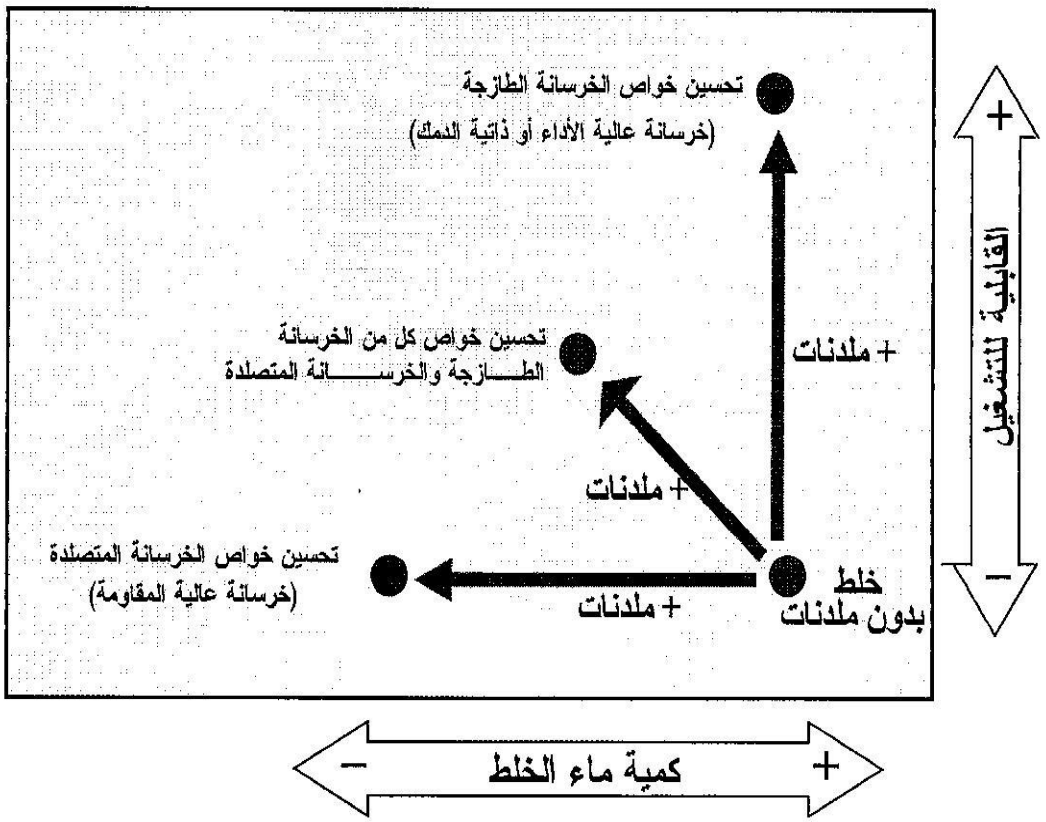
ويمكن الحصول على النوع الاول (لجنوسلفونيت) كمنتج ثانوي من مصانع الورق. وتجدر الاشارة هنا الى امكانية مزج النفثالين والميلامين بكبريتات السليلوز التي تعبر اقل تكلفة من النفثالين والميلامين بالاضافة ان كمية السكر الموجودة في كبريتات السليلوز في معظم الحالات تكون مبطئة للتجمد مما يعني احتفاظ الخرسانة بتشغيلها لفترة طويلة والتحكم بدرجة معينة في معدل فقد الهبوط Control of Slump Loss وهو مناسب للاستخدام في المناطق الحارة (Type D or G). وتجدر الاشارة ان تاثير الملدنات الفائقة على قوام الخرسانة لا يستمر الا لمدة من 30 الى 60 دقيقة من لحظة اضافته الى الخرسانة. وتقل هذه المدة بارتفاع درجة الحرارة حيث ان معدل فقد الهبوط في الخرسانة المحتوية على الملدنات الفائقة يزداد بازدياد درجة الحرارة.

## أسس اختيار الملدنات والملدنات الفائقة

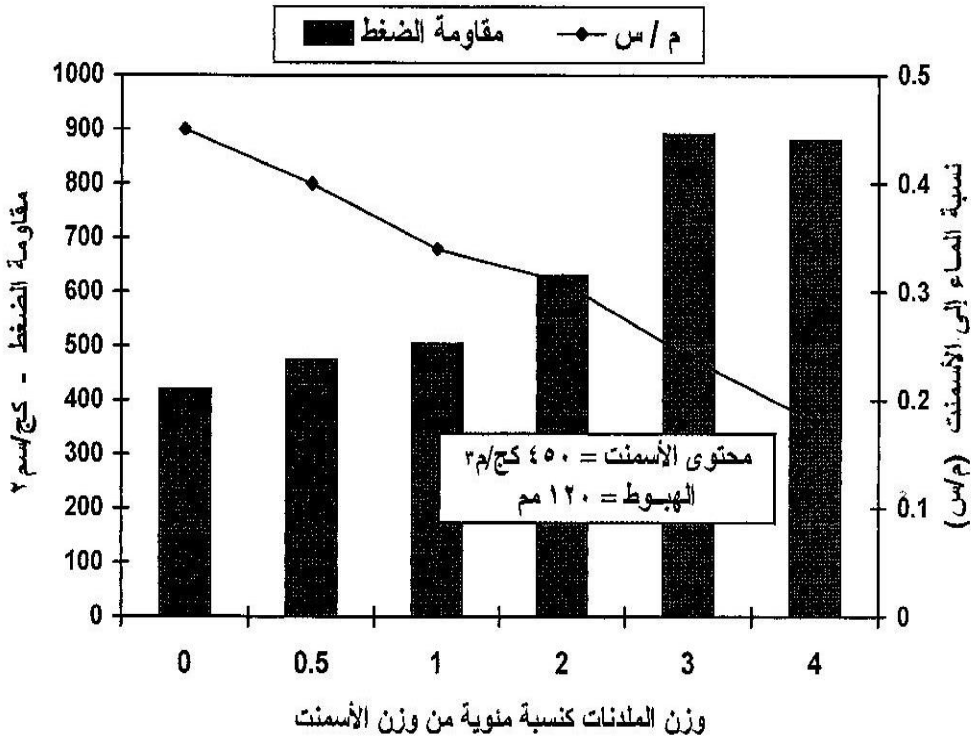
ينبغي ان يكون اختيار نوع مادة الملدن على الأسس الآتية :

1. معدل تخفيض ماء الخلط.
2. معدل الفقدان القابلية للتشغيل.
3. التاثير على زمن التجمد.
4. التوافق مع الاسمنت المستخدم.
5. المقاومة الناتجة للخرسانة.

6. الثمن والتكاليف




شكل (1) الوظائف الرئيسية للملدنات او الملدنات الفائقة




شكل (2) تأثير الملدنا

**كيف تعمل الملدنات**

ان كيفية عمل الملدنات او الملدنات الفائقة في تسييل الخرسانة يأخذ واحداً او اكثر من الصور الاتية :

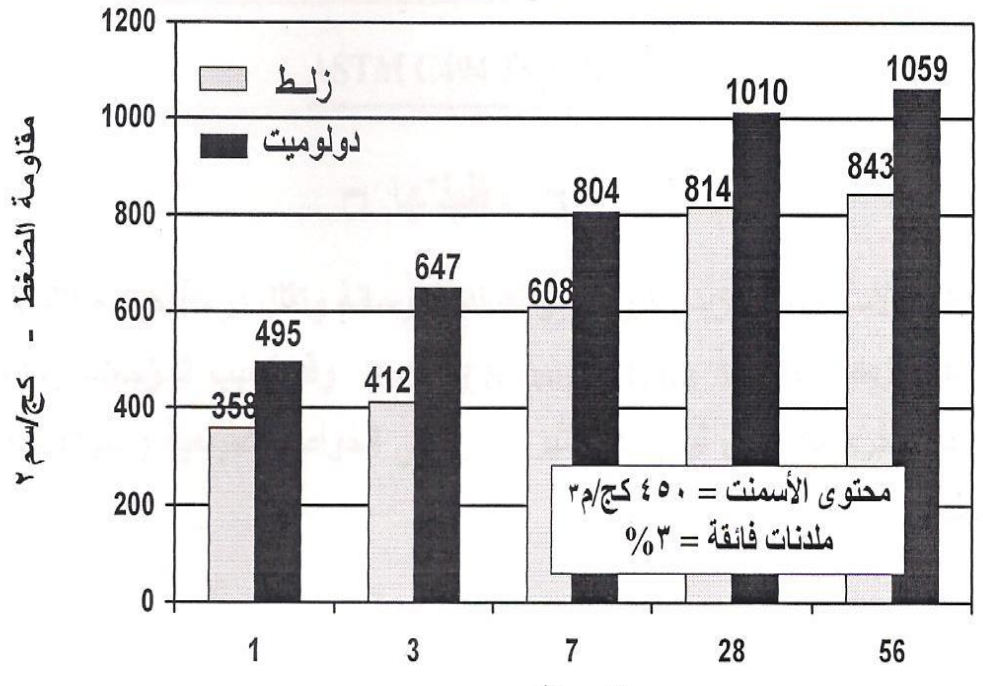
1. تشتيت حبيبات الاسمنت المتكتلة واطلاق المياه المحجوزة بينها.
2. احداث التنافر الكهروستاتيكي بين الجزئيات.
3. العمل على تشحيم الطبقة الرقيقة بين حبيبات الاسمنت.
4. تأجيل عملية الاماهة السطحية لحبيبات الاسمنت مع ترك المزيد من المياه لتسييل الاسمنت.
5. تقليل الشد السطحي للماء.
6. تغير البنية التركيبية في نواتج تفاعلات الاماهة.

ان جزئيات الاسمنت البورتلاندي العادي تتميز بميلها الشديد للتكتل عندما تخلط مع الماء وهذا الميل هو حصيلة لتفاعلات داخلية متنوعة مثل التفاعلات الالكتروستاتيكية بين الشحنات المتضادة وكذلك تفاعلات عملية الاماهة المتنوعة. ان عملية التكتل تقود الى تشكيل شبكة من الجزئيات كما هو موضح في التجمدل (4–أ) حيث تقوم هذه الشبكة بحجز نسبة من الماء حيث يكون هذا مطلوباً لاتمام عملية الاماهة وكذلك توفير التشغيلية المطلوبة في الخرسانة. ويترتب على ذلك حدوث زيادة في اللزوجة الظاهرية للنظام الاسمنتي. ودور الملدنات او الملدنات الفائقة هنا هو العمل على فصل حبيبات الاسمنت المتكتلة عن بعضها ومن ثم الحصول على توزيع متجانس للمياه واتصال مثالي بين المياه وحبيبات الاسمنت كما هو موضح بشكل (4–ب).

## اختبار علمي

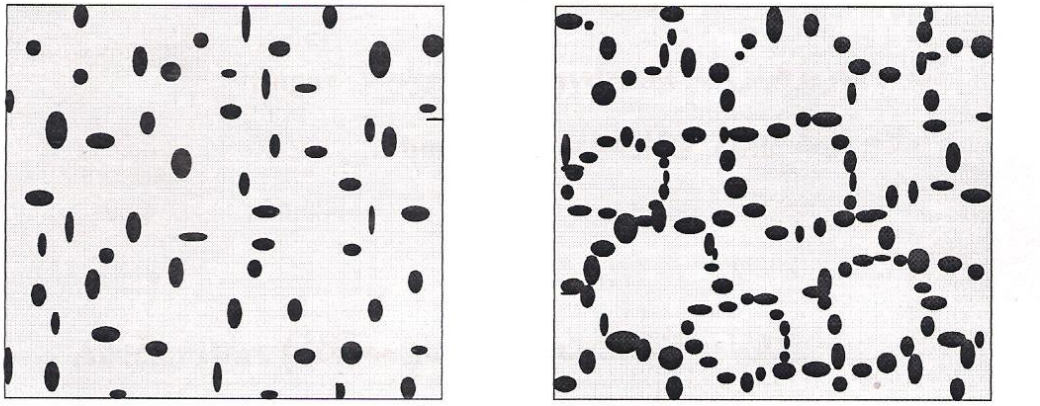
يمكن الوصول الى طبيعة عمل الملدنات او الملدنات الفائقة من حيث القيام بفصل حبيبات الاسمنت المتكتلة عن بعضها وذلك بإجراء تجربة ترسيب بسيطة حيث تؤخذ كمية ثابتة من الاسمنت وتخلط مع

الماء خلطاً جيداً ويترك العالق في مخبار مدرج وسنلاحظ ان جزيئات الاسمنت تكتلت وهبطت الى القاع في خلال وقت صغير نسبياً قد يصل الى حوالي 20 دقيقة فقط كما نلاحظ ان حجم هذه الحبيبات قد اصبح اكبر مما كان عليه ويتضح ذلك من الفارق في الحجم المشغول في المخبار المدرج بالاسمنت الجاف عند مقارنته بالاسمنت الرطب. بينما اذا استخدمنا نوع معين من الملدنات او الملدنات الفائقة مع نفس كمية الاسمنت السابقة يلاحظ انه بعد مضى نفس الزمن السابق ان جزيئات الاسمنت ما تزال معلقة في الماء ولا يتم ترسبها كلياً الا بعد وقت يتراوح من 24 ساعة الى 48 ساعة وفي هذه الحالة شكلت جزئيات الاسمنت طبقة كثيفة نفس حجم الاسمنت الجاف وهذه التجربة تشير بوضوح الى ان الملدنات او الملدنات الفائقة تكون فعالة جداً في تفكيك جزئيات الاسمنت وتشتيتها ويمكن استغلال هذه التجربة ايضاً في تحديد نسبة الاضافة المطلوبة للاسمنت.




المتكتلة

شكل (3) استخدام الملدنات الفائقة



(ب) وجود ملدنات (تشتت)　　(أ) بدون ملدنات (تكتل)

شكل (4) دور الملدنات او الملدنات الفائقة في فصل وتشتيت حبيبات الاسمنت

# انواع المواد المضافة

## إضافات تأخير التجمد (المؤجلات) **Retarders ASTM C494 Type B**

**وظيفتها**

تؤخر تصلب الاسمنت أي تزيد زمن تصلب وتصلد الخرسانة وتقلل درجة حرارة الاماهة للاسمنت فيقل معدل زيادة المقاومة Rate of Strength Gain وقد تسبب المؤجلات زيادة الانكماش اللدن في الخرسانة ولكن ليس لها تأثير يذكر على الخواص الطبيعية والميكانيكية للخرسانة المتصلدة.

**الهدف منها**

- عمل خرسانة في الأجواء الحارة حيث يحدث التصلب الابتدائي للاسمنت سريعاً جداً.
- اذا كانت ظروف صب الخرسانة صعبة ويلزم جعل المونة الأسمنتية لدنة او سائلة لمدة طويلة.
- اذا كان الاسمنت ذات زمن تصلب صغير جداً.
- الحصول على خرسانة ذات ركام بارز ظاهر بسطحها.

**أهم المركبات المستخدمة**

المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates والسكر Sugar واملاح الزنك Zink والفوسفات Phosphates.

## إضافات تعجيل التجمد (المعجلات) Accelerators ASTM C494 Type C

**وظيفتها**

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

**الهدف منها**

**أ – تستخدم بغرض التعجيل بالتصلب كما في الأحوال الآتية :**

إزالة تأثير تأخر التصلب الناتج من درجات الحرارة المنخفضة.

- إزالة تأثير تأخر التصلب الناتج من استخدام إضافة أخرى.
- أعمال الطوارئ مثل وقف رشح المياه في الخزانات.

**ب – تستخدم بغرض الحصول على خرسانة مبكرة المقاومة كما في حالة :**

- إزالة الفرم مبكراً.
- التعجيل بزمن استخدام المنشأ الخرساني.
- تقليل المدة المطلوبة للمعالجة.

**ج – تستخدم بغرض الحصول على خرسانة تقاوم الصقيع وذلك نتيجة الحرارة المنبعثة المبكرة :**

**أهم المركبات المستخدمة**

المركبات المستخدمة كمعجلات للتصلب في الخرسانة هي الهيدروكسيدات القلوية وأملاح الكربونات الذائبة والسليكات ونترات الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم وهو الأكثر شهرة نظراً لرخص سعره وكفاءته العالية في رفع المقاومة المبكرة وتقليل زمن التصلب وأملاح الكربونات الذائبة وتستخدم بنسب 1 الى 2% وبحد أقصى 4% من وزن الاسمنت. ولكن من عيوب استخدام كلوريد الكالسيوم في الخرسانة المسلحة هو إمكانية حدوث تآكل وصدأ في حديد التسليح نتيجة تواجد ايونات الكلور في وجود الرطوبة والأوكسجين. لذلك يجب عدم استخدام كلوريد الكالسيوم في الخرسانة المحتوية على حديد تسليح. ويوجد مركبات اخرى بديلة ولكنها اقل كفاءة واغلى ثمناً مثل نيتريت الكالسيوم وأملاح النترات والبروميدات والفلوريدات والكربونات والسيلكات.

**احتياطات**

- عدم زيادة نسبة هذه الإضافات عن الحد الأقصى وذلك مخافة حدوث التصلب الخاطف Flash Set.
- استخدامها في الأجواء الحارة بحساب وحذر لتلافي حدوث تشققات الانكماش.

## إضـــافات الهـواء المقصود **Air Entraining Admixtures**

**الهدف منها**

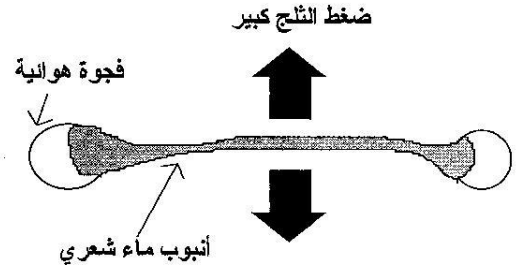
تقليل وزن الخرسانة وزيادة المتانة Durability وخاصة المقاومة للصقيع Frost Resistance ويتم ذلك عن طريق إحداث فقاعات Bubbles هوائية دقيقة (غير متصلة) موزعة توزيعاً منتظماً خلال الكتلة الخرسانية وتبقى كذلك بعد تصلد الخرسانة كما في شكل (5).

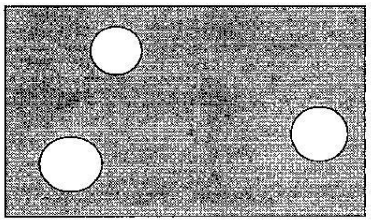
**ويمكن ان يتم ذلك بطريقتين**

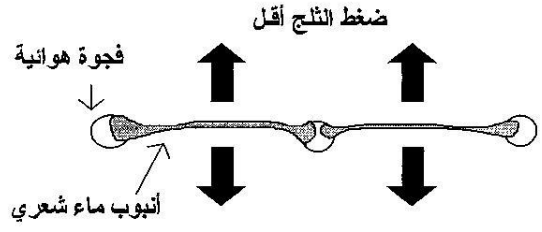
اضافة مواد تحدث رغاوى Foaming وذلك اثناء خلط الخرسانة مثل بعض المركبات العضوية كالاصماغ الخشبية Resins والزيوت والمنظفات الصناعية.

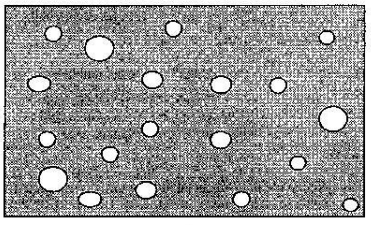
1- استخدام مواد صلبة تتفاعل مع الاسمنت وتنتج غاز الهيدروجين على هيئة فقاعات دقيقة كثيرة مثل مسحوق بودرة الالمنيوم وبودرة الزنك و المغنيسيوم.

وتستخدم هذه المواد بنسب تتراوح من 0.01% الى 0.03% من وزن الاسمنت وتحدث هواء مقصود يتراوح من 5% الى 15% من حجم الخرسانة. ولا تؤثر هذه الاضافات على زمن التصلب للخرسانة بينما تؤدي الى زيادة انكماش الجفاف وتقل المقاومة فقد وجد ان هناك علاقة عكسية بين نسبة الهواء المقصود في الخلطة ومقاومة الضغط للخرسانة، حيث تقل المقاومة بمعدل حوالي 5% تقريباً لكل نسبة هواء مقصود مقدارها 1%.





بدون إضافات هواء محبوس





باستخدام إضافات هواء محبوس

شكل (5) تأثير اضافات الهواء المقصود

## **إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة** Permeability–Reducing Admixtures

**الهدف منها**

تساعد على مقاومة نفاذ الماء الى الخرسانة ولكنها لا تمنع نفاذ الماء تماماً. وللوصول الى درجة عالية من مقاومة النفاذية ينبغي العناية بتصميم الخلطة الخرسانية ثم العناية بعمليتي الرص والمعالجة.

**ويمكن تحسين منفذية الخرسانة من خلال المحاور الثلاثة الاتية :**

**1- اضافات صادة للماء Water Proofing Agents**

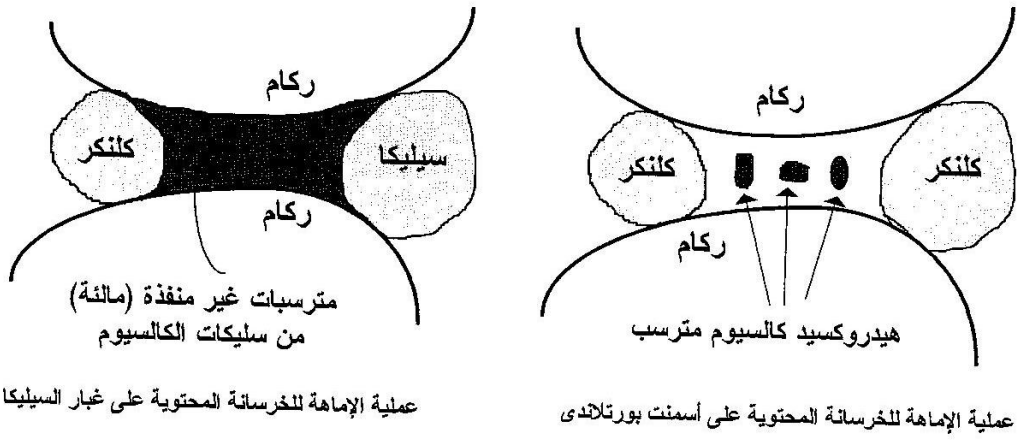
وهي تعمل على منع الخرسانة من امتصاص ماء المطر والمياه السطحية الملامسة ومن امثلتها زيوت البترول والشمع Wax وتضاف بنسبة تتراوح من 0.1% الى 0.4% من وزن الاسمنت. وتستخدم المواد البوليمرية ايضاً لهذا الغرض وذلك في صورة دهانات لاسطح الخرسانة لسد الفجوات الهوائية و الشقوق الشعرية الموجودة بالسطح.

**2- استعمال الملدنات الفائقة Superplasticizers**

وهي تفيد هنا بطريقة غير مباشرة حيث انها تعمل على تقليل ماء الخلط وبالتالي الحصول على اقل نسبة فراغات ممكنة بالخلطة ومن ثم تتحسن منفذية الخرسانة.

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

والمواد البوزولانية هي المواد التي تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الاسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات والومنيات الكالسيوم والتي تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية ومن امثلتها مادة الغبار السليكا Silica Fume وهي مادة تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالي اربعة الى خمسة امثال المساحة السطحية للاسمنت (20000 سم$^2$ / جم) وهي ناتج ثانوي Byproduct في صناعة سبائك السيلكون والفيروسليكون. وتتفاعل مادة غبار السيليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سليكات الكالسيوم المماهة والتي لا تذوب فتؤدي الى تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية كما هو موضح في شكل (6).




شكل (6) دور غبار السليكا

## إضافات لمنع اجتراف الاسمنت بفعل الماء **Antiwashout Admixtures**

عند صب الخرسانة تحت الماء يعمل الماء على اجتراف الاسمنت من الخرسانة وينتج عن ذلك نقص في مقاومتها وتعكر في المياه المحيطة بها. ولهذا السبب يستخدم هذا النوع من الإضافات التي تعتبر من احدث انواع الاضافات الموجودة في السوق حالياً. وتعمل هذه الاضافات على تكوين جل في الماء المحيط بحبيبات الاسمنت فتحميه من الاجتراف بفعل الماء كما تعمل على زيادة اللزوجة والتماسك بين جزئيات الخرسانة وتحسن من مقاومتها للانفصال. ويستخدم هذا النوع من الاضافات ايضاً في انتاج الخرسانة عالية السيولة او الخرسانة ذاتية الرص حيث تقوم هذه الاضافات بمقاومة الانفصال الحبيبي وزيادة التماسك للخرسانة. وتتكون هذه الاضافات من بوليمرات اكريليكية او مركبات سليولوزية على هيئة بودرة قابلة للذوبان في الماء وتضاف الى الخلطة بنسبة تقريبية 1% من وزن الاسمنت.

ولتقييم كفاءة هذه الاضافات لمقاومة الخرسانة لاجتراف الاسمنت بفعل الماء يتم اجراء اختبار سقوط الخرسانة في الماء حيث يتم وضع كمية من الخرسانة حجمها 3 لتر في سلة مثقبة ثم يسمح بسقوطها ورفعها خمس مرات خلال الماء الموجود في وعاء قطره 30 سم وارتفاعه 50 سم. يتم قياس النقص في وزن الخرسانة نتيجة اجتراف الاسمنت وتقاس درجة العكارة للماء حيث ينبغي ان لا تزيد عن 50 ملغم/ لتر كما يقاس الاس الهيدروجيني PH للماء والذي يجب ان يقل عن 12.5. كذلك تقاس مقاومة الضغط للخرسانة بعد اخراجها من الماء، حيث يلزم ان تكون النسبة بين مقاومة الضغط للخرسانة المصبوبة تحت الماء ومقاومة الضغط للخرسانة المماثلة المصبوبة في الهواء اكبر من 80%.

**ويمكن تلخيص تأثير هذا النوع من الإضافات فيما يلي :**

1- تتحسن قدرة الخرسانة على مقاومة انفصال مكوناتها.
2- تتحسن مقاومة الخرسانة للنزيف بدرجة كبيرة.

3- الخرسانة المحتوية على هذه الإضافات يكون لها القدرة على الانسياب والتسوية الذاتية.

4- النوع السليولوزي من هذه الاضافات يعمل على تأخير التجمد الابتدائي والنهائي، حيث قد يصل التصلب الابتدائي الى اكثر من 18 ساعة بينما يزيد التصلب النهائي الى ما يقرب من 48 ساعة.

5- تؤدي هذه الاضافات الى نقص مقاومة الضغط للخرسانة المصبوبة تحت الماء بنسبة قد تصل الى 20% الذا ما قورنت بمقاومة الضغط للخرسانة المماثلة والمصبوبة في الهواء.

## إضافـــات لتلوين الخرسانة Coloring Admixtures

وهي عبارة عن اكاسيد معدنية Metallic Oxide وهي متوفرة في صورة مواد طبيعية او صناعية ويشترط فيها ان تكون خاملة كيمائياً وان لا تزيد نسبتها عن 10% من وزن الخرسانة، ومن أهم المواد المستخدمة في ذلك :

| | |
|---|---|
| اوكسيد الحديد الأسود والكربون | ← اللون الرصاصي أو الأسود |
| ثاني اوكسيد التيتانيوم | ← اللون الأبيض |
| اوكسيد الكروم | ← اللون الأخضر |
| اوكسيد الحديد الأحمر | ← اللون الأحمر |
| اوكسيد الحديد الأصفر | ← لون الكريم او لون سن الفيل |
| اوكسيد الحديد البني | ← اللون البني |

## إضافات أخـــرى متنـــوعة Miscellaneous Admixtures

يوجد العديد من الإضافات الأخرى التي تستخدم مع الخرسانة نذكر منها الآتي :

1- اضافات حقن الخرسانة.

2- اضافات للمساعدة في ضخ الخرسانة.

3- اضافات لمنع تكون الرطوبة بالخرسانة.
4- اضافات لمنع تكون الفطريات والبكتريا على الأسطح الخرسانية للمنشآت المائية.
5- اضافات لمنع التآكل والصدأ في حديد التسليح.
6- اضافات لتقليل التفاعل القلوي بين الركام والاسمنت.
7- اضافات لتكوين الغازات داخل الخرسانة.
8- اضافات لتحسين التماسك بين حديد التسليح والخرسانة.

## الإضافات المفقعة للهواء

تستعمل لزيادة مقاومة الخرسانة لتأثير الانجماد بصورة أساسية وكذلك لتحسين قابلية تشغيل الخرسانة وتقليل النزف بصورة ثانوية، تعمل هذه المضافات على حصر فقاعات هوائية دقيقة جداً في الخرسانة الطرية وبعضها يعمل على توليد فقاعات غازية موزعة بتجانس في انحاء الخرسانة.

أ – الراتنج الطبيعي.

ب- الشحوم.

ج- الزيوت.

د- الصابونيات المكبرته.

هـ- مسحوق الالمنيوم.

و- بيروكسيد الهيدروجين.

ز- مسحوق الزنك.

ان زيادة مقاومة الخرسانة للانجماد لا تحصل الا اذا كان محتواها من الفجوات الهوائية والغازية اكثر من 3% ان زيادة محتوى الخرسانة من الفجوات يؤدي الى تقليل كثافتها وتحملها.

**مضافات ربط الخرسانة :**

تستعمل لربط خرسانة حديثة بخرسانة قديمة عند التصليح او تكملة عمل متروك وكذلك لزيادة التصاق اللبخ والمونة بالخرسانة . يستعمل لذلك مستحلبات مائية لمواد عضوية متنوعة تطلى بها السطوح الخرسانية المتطلبة بعد تهيئتها وتنظيفها قبل وضع الخرسانة الحديثة او المادة الرابطة.

أ- أنواع المطاط الطبيعي والاصطناعي.

ب- أنواع البوليمرات.

ح- البوليمرات الاسهامية، من البوليمرات (كلوريد البوليفينيل وخلات البوليفينيل والاكريليك).

د- مركبات ايبوكسي الرانتج المحورة.

**مضافات اخرى :**

تستعمل مضافات اخرى متعددة مثل مصلدات السطوح او المضافات التمددية او مضافات الانضاج.

ان لاي مادة مضافة تأثيرات مزدوجة في الغالب ايجابية على بعض الخواص وسلبية على خواص اخرى تبعاً لتركيبها وكميتها المستعملة لذا يجب التاكد من صلاحية وكيفية استعمال تلك المواد مسبقاً.

ولجميع هذه المواد مفعول معجل، ومواد غير متفاعلة ومالئة للفجوات.

أ- المساحيق الناعمة جداً والطباشير ولهذه المواد مفعول مساعد لقابلية التشغيل وتعطي خرسانة اكثف.

ب- صابونات الصوديوم والبوتاسيوم وهي مواد منفرة للماء.

ج- النورة.

د- السيليكات القلوية.

هـ- صابونات الكالسيوم.

و- الزيوت النباتية.

ز- الراتنج.

ح- الشحوم والقير. وهي مواد منفرة للماء فاعلة كيمياوياً.

## المضافات المحسنة لقابلية التشغيل :

**المواد البوزولانية :**

ان مادة البوزولانا تعطي تفاعلاً سمنتياً مع النورة الناتجة من تفاعل السمنت لذا فأن استعمالها يقلل من كمية السمنت المستعملة ومن خواصها ايضاً زيادة مقاومة الخرسانة لتأثير المياه الملحية مثل ماء البحر وتحسين قابلية تشغيل الخرسانة وتقليل النزف و الانعزال، ومن الخواص غير المفضلة للبوزولانا بطء تفاعلها وتقليل تحمل ودوام الخرسانة وازياد الانكماش عند زيادة المادة المستعملة.

أ- البيوميسايت.

ب- التراب الدياتومي.

ح- الرماد وخبث الفرن العالي.

تستعمل لتحسين قابلية تشغيل ووضع الخرسانة بهدف إعطاء خرسانة متجانسة وكثيفة وبأقل كمية ممكنة من الماء. وتشمل مواد مطحونة بصورة ناعمة جداً لا تقل عن نعومة السمنت حيث تعمل تلك المواد عند المزج في اعطاء ليونة في القوام وتسهل المزج والنشر والوضع وزيادة في تماسك عجينة الخرسانة الامر الذي يقلل انعزال المواد لذا فإنها تفضل للاستعمال عندما يكون الركام سيء التدرج أو يتدرج بفجوة، تساعد هذه المواد على تقليل النزف أيضاً.