## 4. الخرسانة (Concrete)

الخرسانة تعني عامة خليط من الأسمنت والماء والركام (Cement + Water + Aggregate)، وأحيانا مواد أخرى مثل الجبس والألوان، والذي يأخذ شكل القالب (Mould) الذي يصب فيه عند الصنع في المصنع، أو قوالب الصب في الموقع ( إنشاء هيكلي مؤقت لدعم الخرسانة المصبوبة - Formwork or shuttering). بالتالي الخرسانة مادة مرنة (Plastic material) يسهل تشكيلها ثم تكتسب القوة عندما تجف، وذلك بترطيبها في درجة حرارة ورطوبة مناسبة، لتصبح مادة بناء صلبة ومتينة تقاوم عوامل الطقس. تستخدم الخرسانة بشكل واسع في أعمال البناء مثل الأساسات والأرضيات وألواح التجليد الخارجي لواجهات المباني.

(Plastic material cast in moulds or formwork and when cured sets and hardens)

**الخرسانة عالية المقاومة لقوى الانضغاط، وضعيفة في الشد. عند إضافة قضبان التسليح الفولاذية لمقاومة قوى الشد تصبح الخرسانة المسلحة مادة إنشائية أساسية تستخدم لإنشاء المباني الهيكلية وعناصرها الإنشائية المختلفة: أعمدة وكمرات وبلاطات وأدراج، ولنظم الإنشاء الأخرى كالقشرية مثلا.**

### الجير أو الكلس (Lime):

كانت الخرسانة في العصور الماضية تصنع من الحجر المجروش والرمل بإضافة الجير (أكسيد الكالسيوم) كمادة لاصقة. الجير ما زال يستخدم اليوم لأعمال الملاط والملياسة (Mortar and plastering) بإضافته للأسمنت، وليس لعمل الخرسانة بل تضاف من كميات ضئيلة لإكسابها الليونة.

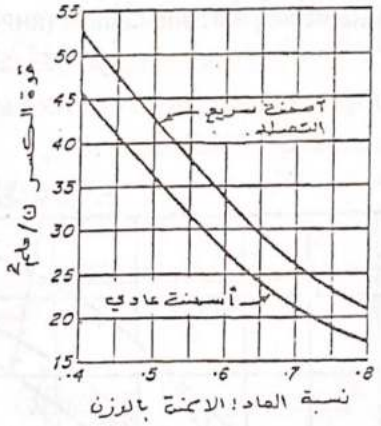
الجير الحي (Quick lime) هو المادة الناتجة من حرق الأحجار الجيرية الطبيعية لدرجات حرارة حوالي 1000 درجة مئوية إذ يصبح الجير عندها قابلا للتفكك تماما. ينتج الجير المطفأ (Hydrated lime) بإضافة الماء للجير الحي وتبريده ليصبح مسحوق أبيض وجاف وخالي من الكتل المتماسكة.

### الأسمنت (Cement)

التطورات في صناعة الجير الذي يعتمد على الماء لاكتساب القوة (Hydraulic material) أدت في العام 1824م إلى إنتاج الأسمنت البورتلاندي (Portland cement) والذي كان يشبه لحد ما حجارة جزيرة بورتلاند بإنجلترا. يصنع الأسمنت بحرق خليط بنسب محددة من المواد الطينية المحتوية على سيليكا وألومينا وأكسيد الحديد،والحجارة الجيرية (كاربونيت الكالسيوم) في مراجل دوارة ضخمة جدا لدرجة حرارة تكون الكلينكر (Clinker) والذي يضاف إليه نسبة ضئيلة من الجبس (لإبطاء عملية تصلب الأسمنت بعد التفاعل مع الماء)، ثم يطحن لبدرة تكون درجة نعومتها من محددات خصائص الأسمنت.

يستخدم الأسمنت بأنواعه العديدة كمادة رابطة لعمل الخرسانة والمواد المقواة بالألياف (الزجاجية أو المعدنية أو الأسبستوسية) (Fiber reinforced materials)، ولعمل الملاط والملياسة ولرصف

الأرضيات. عند إضافة الماء للأسمنت تبدأ فورا عمليات كيمائية تستمر طالما كان الماء موجودا. في البداية يتصلب الأسمنت (Setting) ثم يبدأ باكتساب القوة بالتصلد (Hardening). يجب أن تكون كمية الماء محدودة والقليل منها كافي لهذه العملية. أما الماء الزائد فيتبخر تاركا فجوات تقلل كثافة وقوة المادة الناتجة. بالتالي تعتمد القوة والصلابة عكسيا على نسبة الماء للأسمنت، كما يوضح الشكل (1) (Water / Cement ratio). كما أن كثرة الماء تسبب الأنكماش الزائد عندالتجفيف.




الشكل (1): العلاقة بين قوة الكسر ونسبة الماء : الأسمنت البورتلاندي

## الشك والتصلد (Setting and Hardening)

هما مرحلتان في عمل المنتجات ويبدءان فورا بعد إضافة الماء للأسمنت. سرعة التفاعل (الشك – setting) واكتساب القوة (التصلد – hardening) تعتمد أيضا طرديا على درجة الحرارة وتتوقف عند درجة التجمد، إلا أن بعض أنواع الأسمنت العالي في نسبة الألومينا يولد حرارة كافية خلال الترطيب لاستمرار التصلد في الأجواء الباردة. أما في المناطق الحارة فيجب تفادي الحرارة الزائدة (عادة بإضافة الثلج عند تصنيع الخرسانة) والتي تؤدي إلى التشقق نتيجة القوى الغير متوازنة.

لتسهيل العمل أثنا الصب يجب ألا يكون الشك بطيئا جدا أو سريعا جدا. يتم التحكم في زمن الشك بإضافة نسب قليلة من الجبس (كبريتات الكالسيوم) (Gypsum: Calcium carbonate) خلال صناعة الأسمنت. تنص المواصفات (الإنجليزية مثلا) على درجات زمن الشك الإبتدائي والنهائي عادة بين 45 دقيقه إلى 10 ساعات. كما تنص على درجات التصلد واكتساب القوة كالتالي:

13 و 29 نيوتن/ملم$^2$: بعد 3 أيام وبعد 28 يوم للأسمنت البورتلاندي العادي

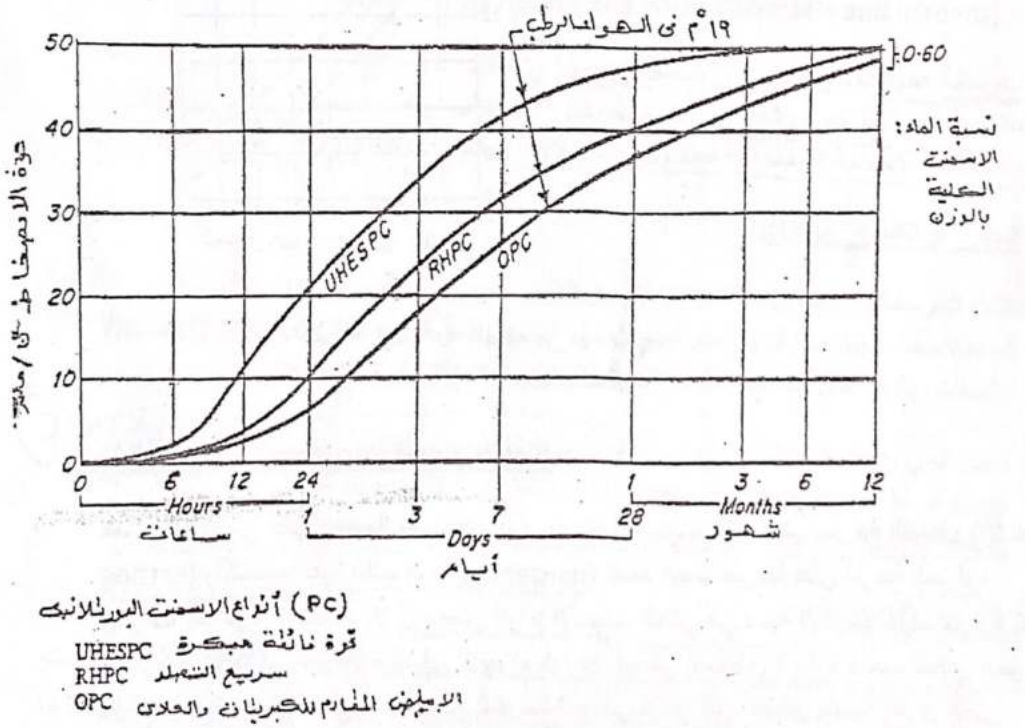
18 و 33 نيوتن/ملم$^2$: بعد 3 أيام وبعد 28 يوم للأسمنت البورتلاندي سريع التصلد

يوضح الشكل (2) اكتساب القوة للخرسانة المصنوعة بأنواع مختلفة من الأسمنت البورتلاندي لفترات تمتد إلى 12 شهرا، علما بأن الخرسانة:

**تتصلب كليا بعد 7 أيام وحينها تصل قوتها إلى 70% من قوتها المعيارية التي تصلها بعد 28 يوم.**

هذه الأنواع هي:

- الأسمنت البورتلاندي العادي Ordinary Portland Cement (OPC)
- الأسمنت البورتلاندي سريع التصلد Rapid-Hardening Portland Cement (RHPC)
- الأسمنت البورتلاندي فائق سرعة التصلد مبكر القوة
  Ultra High Early Strength Portland Cement (UHESPC)




مخنى التصلد لانواع الاسمنت المختلفة

الشكل (2) اكتساب القوة للخرسانة المصنوعة بأنواع مختلفة من الأسمنت

الإضافات للأسمنت البورتلاندي (Admixtures to Portland cement):

هي مواد تضاف لتعديل مواصفات الخرسانة، ويجب استخدامها بحذر لتفادي بعض السلبيات المحتملة، ومنها التالي:

مواد مساعدة على الليونة (Workability aids)

تقلل الحاجة إلى الماء مع إعطاء ليونة مناسبة، وبالتالي زيادة قوة الخرسانة

مواد معجلة للتفاعل (Accelerators)

تزيد سرعة الشك والتصلد، وتفيد في المناطق الباردة

مواد تبطئ التفاعل (Retarders)

تبطئ الشك بدون التأثير على الليونة، وتفيد في المناطق الحارة لصبات العناصر كبيرة الحجم

إضافات لتحسين مقاومة اختراق الماء (Damp-proofing admixtures)

تمنع اختراق الماء للخرسانة بواسطة الجاذبية الشعرية، تستخدم لخزانات المياه مثلا

مواد ملونة للأسمنت والخرسانة (Pigments)

يفضل استخدام الأسمنت الملون الذي اضيفت له الأصباغ عند الصنع

أنواع الخرسانة (Concretes)

تستخدم الخرسانة في أعمال البناء المختلفة، كالتالي:

- نظم الإنشاء الهيكلية والصلبة والقشرية
- مكونات غير انشائية مثل التجليد الخارجي ورصف الأرضيات
- الخرسانة الخفيفة كمادة عازلة للحرارة والماء أو لتشكيل الميول لأسطح الأسقف

يفضل إنتاج الخرسانة في المصانع (الخرسانة الجاهزة Ready mix) لضمان الجودة لكن تظل الخرسانة من المواد القليلة التي يمكن انتاجها بشكل جيد في الموقع بمراعاة بعض العوامل الهامة:

- الأنواع المناسبة من الأسمنت والماء والركام
- أقل نسب ممكن من :
  - نسبة الماء للأسمنت
  - نسبة الأسمنت للركام
- خلط المكونات جيدا واستخدام الهزاز للشك للحصول على أعلى كثافة للصبة
- الشدة الجيدة والمحافظة على درجة الحرارة والرطوبة المناسبة حتى اكتساب القوة

**الركام (Aggregate):**

أنواع الركام كثيرة وترتبط بكثافة الخرسانة المنتجة. الكثافة بدورها تحدد الخصائص التالية للخرسانة:

- القوة (Strength)
- الصلابة (Hardness)
- المتانة (Durability)
- مقاومة اختراق الماء (Imperviousness)
- الموصلية الحرارية (Thermal conductivity)

تختلف هذه الأنواع حسي نوع الخرسانة المطلوبة، وهي نوعان رئيسيان:

- الخرسانة الكثيفة (Dense concrete)
- الخرسانة الخفيفة (Lightweight concrete)

الخرسانة العادية كثيفة والركام الناعم يزيد من كثافتها، أما الخرسانة الخفيفة فتنتج باستخدام ركام خفيف أو إحداث فجوات (فقاعات) هوائية بها خلال الانتاج. يبين الجدول في الشكل (1) أنواع الخرسانة الكثيفة والخفيفة وخصائصها المختلفة، وذلك حسب نوع الركام المستخدم.

| | النوع | | المكون | كثافة المكون kg/m³ | كثافة الخرسانة kg/m³ | قوة الانضغاط عند 28 يوم N/mm² | معامل المرونة N/mm² | الانكماش الجاف per cent | الموصلية الحرارية W/m deg C |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الحماية من الاشعاع | | | حديد | 4005–4561 | 5286 | up to 69 | | | – |
| متانة الحريق درجة 2 | | | حصى | 1360–1760 | 2240–2480 | 14.0–70.0 | 20 700–34 500 | 0.03–0.04 | 1.4–1.8 |
| | | | | | | 41.4–69 للقراءات العالية | 34 500–44 800 | | |
| متانة الحريق درجة 1 | | | حجر جيري مكسر | 1360–1600 | 2160–2400 | 24.1–34.5 | | | |
| | | | طوب مكسر | | 1680–2160 | 13.8–27.6 | | | |
| انشائي | | بدون ذرات دقيقة | حصى | 1360–1600 | 1600–1950 | | | 0.016–0.028 | 0.08–0.94 |
| | | | مخلفات الحرق | 720–1040 | 880–1440 | 2.76–6.89 | | 0.033–0.040 | |
| عزل حراري ومتانة حريق درجة 1 عالية | خرسانات خفيفة الوزن | مكونات خفيفة الوزن | طين ريون طبيعي | 320–1040 | 720–2000 | 2.0–62.0 (الخرسانة الانشائية 15 على الأقل) | 6 890–20 700 | 0.030–0.070 | 0.24–0.93 |
| | | | متنوع | (64)* 480–1040 | (400)* 560–1760 | (0.48)* 1.40–27.5 | | 0.03–0.09 | 0.25–0.35 0.16–0.91 |
| | | حجري | – | – | 400–1440 | 1.38–10.35 | 1450–3120 | 0.22 معالج بالبخار 0.06 معالج بالبخار | 0.05–0.26 |

الشكل (1): أنواع الخرسانة الكثيفة والخفيفة وخصائصها المختلفة

نسب خلط الخرسانة (Batching):

من النسب السائدة لأعمال الخرسانة المسلحة الإنشائية نسبة (4:2:1) للأسمنت:الرمل: الركام. ونسبة (6:3:1) لغير الإنشائية. تدكيك وشك الخرسانة مهم للتخلص من الهواء المحتبس ويفضل استخدام الهزاز الميكانيكي.، مع تفادي الشك الزائد لكي لا يؤدي لفصل الركام الخشن عن الناعم أو الأسمنت.

**الخرسانة الخفيفة (Light weight concrete):**

تعرف بأنها تزن أقل من (2000) كغم/م$^3$، ويمكن تصنيعها بكثافة أقل من (160) ) كغم/م$^3$ (للخرسانة الرغوية). الخرسانة الخفيفة نوعان:

- ذات الركام الخفيف (light aggregate concrete) مثل الصخور الخفيفة (Exfoliated vermiculite) أو الممدة بالحرق مثل الصخر اللؤلي والطين الطفل والحجر الخفاف (Expanded Perlite, Shale & Pumice).
- ذات الفجوات الهوائية (الرغوية) (Aerated or Cellular concrete) وذلك بتمرير الغازات في الخلطات الخرسانية الغير إنشائية والمحتوية على الأسمنت والجير والركام الناعم والوقود المسحوق (pulverized fuel ash).