الفصـــــل الســـادس
الروابـط Binders

٦-١- الجبس Gypsum:

استخدم الجبس فىمصر بين كتل أحجار البناء كمونه كما فى الأهرام كما استخدم كذلك فى البياض وذلك منذ حوالى ثلاث ملايين سنة قبل الميلاد.

أيضا يرجع تاريخ استخدام الجبس فى Mesopotamia إلى أزمنة مبكرة جدا .

ويتم تجهيز جبس البياض بتسخين خام الجبس أو أحجار السيلينيت Selenite التى تحتوى كل منهما على كبريتات الجبس المائية فى درجة حرارة متوسطة At moderate temperatures " حيث يتحول الجبس المحتوى على جزيىء ماء $2H_2O$ إلى جبس يحتوى على نصف جزيىء مـــاء H_2O ½ وذلك طبقا للمعادلات الكيميائية الآتية:

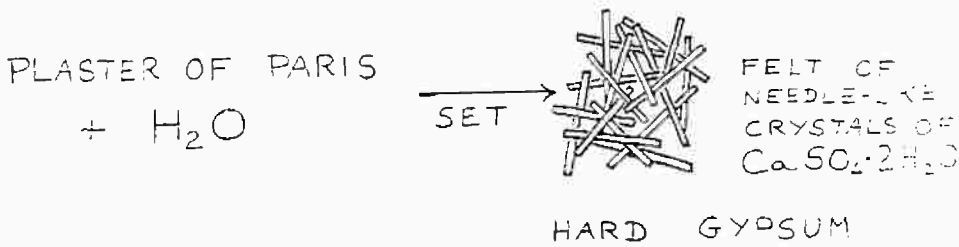
$$CaSO_4.2H_2O \xrightarrow{130^\circ C} CaSO_4.1/2\,H_2O + 1.5\,H_2O$$

Di-Hydrate → Hemi- Hydrate

Gypsum → Plaster of Paris

والجبس الذى يحتوى على نصف جزيىء ماء يسمى : جبس باريس أو بياض باريس Plaster of paris ويتم تجهيزه بتسخين الجبس المائى فى درجة حرارة تتراوح بين ١٥٠-١٦٠ °م.

والجبس الباريسى يشك بسرعة عندما يخلط أو يضاف اليه الماء ، ويتحول إلى جبس مائى ويأخذ شكل بلورات إبريه تشبه اللباد بعد الشك كما



شكل رقم (٣٥) يوضح

شك الجبس الباريسى

وتتوقف سرعة شك الجبس المنتج على حالات تسخين الجبس الخام ودرجات الحرارة داخل الأفران .

وبصفة عامة يوجد نوعين من أنواع الجبس نصف المائى التى تحتوى على أشكال مختلفة من البللورات ولها معدلات مختلفة عند التفاعل مع الماء.

النوع الأول : الفاهيمى هيدرات α - Hemi-Hydrate :

ويسمى جبس نصف مائى متبلور Crystalline Hemihydrate ويتم تجهيزه بتسخين الجبس فى الأوتوكلاف Autoclave تحت درجة عالية من الضغط فى وجود بخار الماء.

هذا النوع من الجبس يتبلور جيدا، ولايكون كثير المسام ويتحد ببطء شديد مع الماء.

النوع الثانى: بيتاهيمى هيدرات Hemi-Hydrate- β :

ويسمى جبس نصف مائى دقيق المسام Hemi Microporous Hydrate ويتم تحضيره فى جو جاف .

هذا الجبس تكون بللوراته صغيرة، ويحتوى على مسام ذات أبعاد كبيرة نوعا ، ويتحد بسرعة أكثر مع الماء .

- شك الجبس The setting:

تتوقف سرعة شك الجبس - كما سبق الذكر - على حالات تسخين خام الجبس ، ودرجات الحرارة داخل الأفران . وفى سياق تفاعل الشك بل أثناء هذا التفاعل يسخن الجبس ويفقد قليلا من ماء الخلط بواسطة التبخر Evaporation لذلك يتغير حجم الجبس أثناء الشك ، فى هذا الوقت يقوم الجبس بتعويض هذاالتغير فى الحجم عن طريق نمو البللورات المكونة له ، يحدث ذلك بواسطة عملية التميؤ Hydration.

لذلك فإن عملية شك الجبس يصاحبها حدوث تمدد بسيط يظهر ذلك واضحا عند عمل قوالب من الجبس Nake moulds ويكون مفيدا جدا لأننا لانحتاج لاستخدام موالىء Fillers حتى يمكن تجنب التقلص أو التشقق Contraction & Cracking.

هذا ويمكن تسريع عمليات شك الجبس عن طريق اضافة تراب الجبس Gypsum dust - الجبس الجاف - أو الملح، أثناء عمليات الخلط ،

فى حين يمكن تأخير زمن شك الجبس ، بإضافة مواد عضوية ،مثل : الغـراء أو النشا.

لو الجبس أو جبس باريس سخن لدرجة أعلى من ١٦٥-١٧٠ °م يتم ازالة الماء المتبقى منه وتتكون كبريتات الكالسيوم غير المائيـة Anhydrous calcium sulphate (Anhidrite) وذلك طبقا للمعادلة التالية :

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \xrightarrow{\text{over } 170^\circ C} CaSO_4 + 2H_2O$$

gypsum anhydrite

والأنهيدرايت جبس لامائى يمكن أن يتحول إلى جبس مـائى لكن فـى الواقع يتم ذلك ببطء، إلا أنه يلاحـظ أن الجبـس المـائى يمكـن أن يتحـول إلـى جبس غير مائى تلقائيا فى الأجواء الحارة الجافة مثل : الصحراء المصرية.

ولأن كبريتات الكالسيوم تذوب ببطء فى الماء فإن الجبس لايسـتخدم عادة فى الأسطح المعرضة (المكشوفة) فى الأجواء الرطبة .

٦-٢- الجير Lime:

ثبت استخدام الجير فى العصـر الحجـرى الحديـث حيـث تـم اكتشـاف بياض الجير.

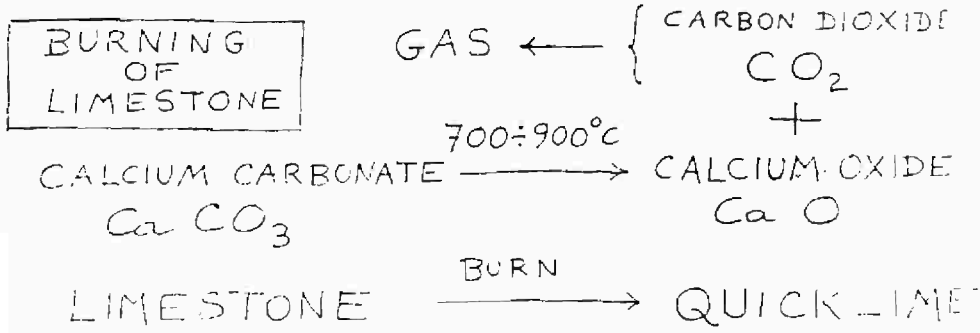
وفى العصور التاريخية ظهـر بياض الجير فـى الحضـارة الميسـينيه والمينويـه Mecenean & Minioc civilization وذلـك فـى قصـر Knossos الذى يرجع إلى عام ١٧٠٠ ق.م.

وفى مصر بدأ استخدام الجير متأخرا قليلا حيث اسـتخدم فـى العصـر البطلمى ٣٠٠ ق. م .

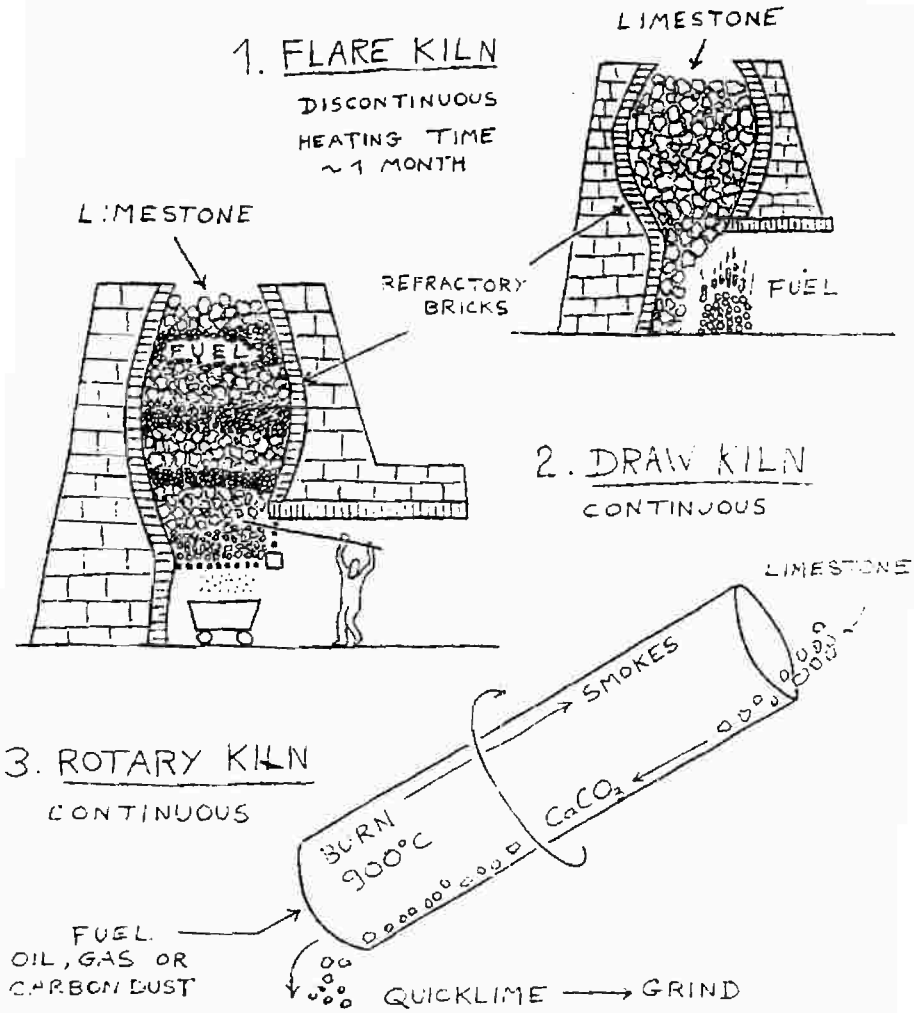
وكانت المون قديما تحتوى على كل من الجير والجبس، كما كان يتم صناعتها بداية عن طريق خلط معادن تعطى صفات الجبس والجير.

ويتم تجهيز الجير فى درجات حرارة عالية ، أعلى من درجة حرارة تجهيز جبس باريس ، لذلك فإن استخدام تكنولوجيا صناعة الجير كانت غير مستحبة فى معظم الأحيان .

ويصنع الجير بحرق الجير الذى يحتوى أساسا على كربونات الكالسيوم فى درجة حرارة ٧٠٠-٩٠٠ °م فى أفران خاصة ، أصبحت الآن أكثر تقدما - انظر الشكل رقم (٣٦) لينتج فى النهاية الجير الحى ، وذلك طبقا للمعادلات الكيميائية التالية :



مع ملاحظة أن الحجر الجير إذا سخن لدرجة حرارة عالية جدا Over Heated فان الجير الذى نحصل عليه بعد ذلك لايتحد جيدا معالماء ، ويكون كتل Formation of lumps أيضا يجب العلم بأن الرخام مصدر غير مناسب لكربونات الكالسيوم ، لأن حبيباته الكبيرة تشكل كتل من الجير الحى صعبة الاطفاء .



شكل رقم (٣٦) يوضح

أفران صناعة الجير

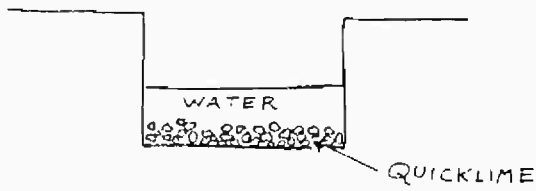
- طفى الجير Slaking:

عملية طفى الجير هى : عملية تفاعل بين الجير الحى والماء وهذا يتضح من المعادلة الآتية :

calcium oxide	→	calcium hydroxide
$CaO + H_2O$	→	$Ca(OH)_2$
quicklime	→	slaked lime

هذا التفاعل ينتج عنه حرارة ، وإذا تمت عملية إطفاء الجير بدقة يمكن أن نحصل على جير جيد . ولو استخدمت الكمية الصحيحة من الماء ، يمكن أن نحصل على هيدروكسيد كالسيوم فى شكل جير متميىءHydrated عى شكل بودره ، ولو أضيف إلى بودره الجير كمية أخرى من الماء نحصل على كتله شحميه ناعمة A Soft greasy mass تسمى : عجينة الجير Lime paste.

ويتم طفى الجير فى حفر تسمى : حفر الجير Lime pits انظر الشكل رقم (٣٧) حيث يمكث عدة شهور أو عام كامل . وكلما طالت فترة طفى الجير كلما تحسنت خواصه ، حيث أن طول فترة الطفى تسهل النمو الصفائحى لبللورات الجير وتحسن من خاصية اللزوجة Plasticity فى عجينة الجير .



حفرة طفى الجير

ويلاحظ أن الجير المطفأ لايستخدم وحدة ، لكن دائما يستخدم معه مادة مالئة لكى يمكن تجنب التشققات To Avoid Cracks .

- عملية تصلب الجير Hardening:

تحدث عملية تصلب أو شك الجير المطفأ عن طريق تفاعل ثانى اكسيد الكربون الجوى مع الجير وتبخر الماء . ويتضح ذلك من المعادلة الآتيـــــة:

from the air		evaporates
↓		↑
$Ca(OH)_2 + CO_2$	→	$CaCO_3 + H_2O$
slked lime	→	carbonated lime
(soft)		(hard)

من أجل ذلك فإن عملية الشك تتطلب اتصال مع الهواء وجفاف تدريجى. مع ملاحظة أن فقد الماء يسبب تقلص أو إنكماش فى حجم الجير.

- مونة الجير Lime mortar:

الرمل هو المالىء النموذجى فى مون الجير ، ويجب غسل الرمل جيدا قبل استخدامه وذلك للتخلص من الأملاح التى قد تسبب ظاهرة التزهر Effloresceences وأيضا لازالة الطفل والمواد العضوية التى تسبب فى بطء عملية الشك.

وفيما يلى نذكر مثال جيد لمونة جير:

المـــواد	الكمية بالحجم	الكمية بالوزن
- جير مطفأ	١	١٥
- رمـــل	٣-٢	١٠٠
- مـــاء	حسب الطلب	

مع ملاحظة أن خلط المون بنسب صحيحة ضرورى جدا .

وقد لوحظ أن مونة الجير تصبح جيدة التشغيل إذا أضيف الماء اليها بكميات مناسبة ، وفى المقابل تتحسن الخواص الميكانيكية للمونة بعد تصلبها إذا قلت كمية الماء المضاف اليها .

كما أن خاصية التشغيل Workability يمكن أن تتم بدون فقد زائد لمتانة المون ، وذلك من خلال استخدام مسيلات Fluidizers ويفضل دائما الماء، لأن أقل كمية منه تسمح باستخدامه بدون تأثير على عملية التشغيل .

أيضا فإن طاقة الخلط Energetic mixing الناتجة عن احتكاك مواد المون بالهواء تعمل على تحسين خواص التشغيل بدون إضافة زيادة من الماء.

ويحتاج عامل البناء A mason إلى خبرة كبيرة لكى يحقق التوازن بين خاصيتى التشغيل والقوة أو المتانه Workability and strength .

وتجدر الاشارة إلى أن الصعوبة الكبيرة فى استخدام مون الجير تكمن فى حقيقة أن تصلب المون يكون بطيئا جدا ، وربما لاتتصلب كلية فى الجو الرطب جدا، حيث أن الجفاف شرط أساسى من شروط تصلب مون الجير .

لذلك فإن صعوبة شك مون الجير تحد من استخدام الجير النقى فى الوقت الحاضر، وتشجع إضافة مركبات هيدروليكية تسهل عملية الشك أو التصلب فى الجو الرطب ... مثل: خلط الجير مع البوزولانا أو خلط الجير مع الأسمنت .

ويجب أن نذكر فى هذا المجال أن الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمون الجير الحالية ، تقرب من الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمون الجير التى استخدمت فى المبانى القديمة .

لذلك يفضل استخدامها فى أعمال الصيانة والترميم لهذه المبانى خاصة إذا تم حل المشكلات التكنولوجية الأساسية حلا مرضيا.

٦-٣- المون الهيدروليكية Hydraulic Mortars:

تتصلب المون الهيدروليكية أو تشك عن طريق تفاعل كيميائيى مع الماء ، بدون حاجة إلى الهواء الجوى ، على عكس المون العادية ، التى يتطلب شكها الهواء الجوى.

وتصنع المون الهيدروليكية من المركبات المائية التى تشك كاملة تحت الماء ، وعندما تتصلب تقاوم عوامل التلف فى الماء العذب أو ماء البحر. لذلك تستخدم هذه المون فى الأعمال التى تتطلب أو التى تنفذ فى البحر أو فى المجارى المائية بشكل عام . مثل : القناطر والسدود .

- الطريقة الأولى لتحضير مون الجير الهيدروليكيه

Hydraulic lime mortars:

من الممكن أن يكون الجير مون هيدروليكية إذا تفاعل مع السليكا SiO_2 أو الألومينا AL_2O_3 . هذا التفاعل ممكن حدوثه فقط عند درجات حرارة عالية ، كما يحدث فى أثناء صناعة الأسمنت.

ومن الممكن أن يتم التفاعل فى درجة حرارة الغرفة لو استخدم مكونات نشطه جدا مع السيليكا والألومينا ، كما حدث عند صناعة الأسمنت الرومانى القديم Ancient Roman Cement.

فى الحقبة الهيلينستيه Hellenistic period حوالى القرن الرابع قبل الميلاد، تم اكتشاف بعض التربات البركانية الأصل، وذلك فى مناطق البراكين، وعندما خلط تراب البراكين مع الجير المطفأ نتجت مونه تصلبت تماما فى الجو الرطب جدا .

ويلاحظ أن كل المواد التى تنتج مون هيدروليكية مع الجير المطفأ تصمم على أساس التربات البركانية ، ويطلق عليها اسم : مواد بوزولانيه Pozzolanic materials أو بوزولانا Pozzolana نسبة إلى مدينة بالقرب من نابلى تسمى : Pozzuoli.

ومن أهم المواد البوزولانيه الطبيعية التى استخدمت فى العصور القديمة البوزولانا Pozzolana وحجر توف tuff الموجود فى جزيرة سانتورين أحد جزر بحر ايجه Aegean islands وحجر الخفاف Pumice وحجر طراس Trass الموجود فى حوض نهر الراين الأدنى Rhine region.

هذه المواد البوزولانيه تحتوى على سيليكا والومينا فى حالة نشطه لأنها صهرت فى البراكين ، وبعد ذلك خرجت إلى الهواء الذى بردها بسرعة، لذلك تكون غالبا زجاجية النسيج، وتحتوى على فقاعات غاز ، كما تكون غير بللوريه ، وغير ثابتة كيميائيا ، لها سطح نوعى كبير.

عملية التفاعل التى تتم بين الجير المطفأ والمواد البوزولانيه يمكن تلخيصها فى المعادلة التالية :

CH	+ A.S	+ H →	CSH	+ CAH
Slaked Lime	Reactive Alumina & Silica	Water	calcium Silicate Hydrate	Calcium Aluminate Hydrate

مع ملاحظة أن هذه الرموز السابق ذكرها فى المعادلة ، هى نفسها الرموز المستخدمة فى كيمياء الأسمنت وموضحة فى الجدول رقم (٦).

كما لوحظ أن سيليكات الكالسيوم المائية الناتجة عن التفاعل السابق تكون شبكة من بللورات ليفيه Fibrous crystals أو مواد أمورفيه جيلاتينيه Gelatinous amorphous materials وهذه يمكن اعتبارها السبب الرئيسى فى تصلب المونه .

وقد استخدمت أنواع أخرى من المواد البوزولانيه الصناعية أيضا فى العصور الكلاسيكية ، وبصة خاصة ، خبث الحديد Iron slag ومسحوق الطوب الأحمر أو كسر الفخار ، وهذه مواد قليلة التفاعل ، إلا أنه يجب ملاحظة أن هذه المواد عندما تخضع لدرجات حرارة عالية ، تصبح بعض أجزائها فى حالة زجاجية Vitrified.

هذا ومازالت المواد البوزولانيه مستخدمة فى التقنيات الحديثة كإضافات حديثة لمواد تقليدية ، مثل : الرماد Fly ash كما أنه أحيانا تضاف البوزولانا للأسمنت الحديث لتحسين مناعته للماء المحتوى على الكبريتات .

وفى الحقبة الرومانية : سمح استخدام المركبات الهيدروليكية بتنفيذ الأعمال المائية ، كما استخدمت فى تسليح القوالب المستعملة فى النماذج الخشبية Concrete casting in wooden moulds .

وفيما يلى نذكر نموذج لخليط مونة تستخدم فى عمل القوالب المكبوسه وتسمى : الخرسانة الرومانية Roman concrete هذا الخليط يتكون من :

- جير Lime
- بوزولانا Pozzolanna
- كسر طوب أو بلاطات Broken Bricks or tiles

هذا ويمكن انتاج الخرسانة خفيفة الوزن باستخدام حجر الخفاف كماده مالئه Aggregate بدلا من قطع الفخار Terracota

مثال ذلك: قبة البانثيون فى روما The pantheon in Rome وحديثا أنتجت التكنولوجيا مواد بوزولانيه قويه أو لها قدرة فائقة على التحمل Astrong & durable materials.

فى العصور الوسطى ظهرت بدايات تكنولوجيا الخرسانة والمون الهيدروليكية ، حيث كان يتم ملىء الفراغ بين سمك الجدران وفى الحوائط المزدوجه فى المبانى التاريخية ، بالدبش المخلوط بمواد هيدروليكيه .

وقد نقلت المعلومات التكنولوجية عن المون الهيدروليكية من خلال مذكرات Vitruvius فى رسالة عن بداية عصر النهضة فى القرن الخامس عشر، فى بداية الثورة الصناعية ، حيث أنه أثناء تطوير الموانىء ، والطرق، وقنوات المياه ، تطلب استخدام كمية كبيرة من الخرسانة الهيدروليكيه .

ويجب أن نعلم أن تكنيك الخرسانة الهيدروليكيه مازال مناسبه للاستخدام فى العصر الحالى ، لكن المواد مازالت نادرة .

وقد استخدم المعماريون الانجليز مواد بوزولانيه فى بناء دعامة Pier جديدة فى ميناء Tangiers عام ١٦٦٩م وذلك بالاستعانة بمستشارين ايطاليين .

وفى شمال انجلترا استخدام حجر الطراس أو خبث أفران الحديد بدلا من البوزولانا .

- **الطريقة الثانية لتحضير مون الجير الهيدروليكية :**

يتم بالتفاعل بين الجيرأ الحجر الجيرى مع السيليكا أو الألومينا ، درجة حرارة عالية جدا، ويحتمل أن هذه الطريقة عرفت منذ العصور الوسطى ، حيث كان يتم جلب الحجر الجيرى غير النقى من المحجر ثم يتم حرقه للحصول على الجير الحى، والجير الحى الناتج بعد الحرق مباشرة يخلط بالماء فى الحال ، ثم يستخدم مباشرة حيث يتصلب بسرعة تحت الماء.

وفى عام ١٧٩٦ م حصل Parker على براءة اختراع الأسمنت الرومانى Roman cement الذى أنتجه فى درجة حرارة تصل إلى ٨٠٠ °م.

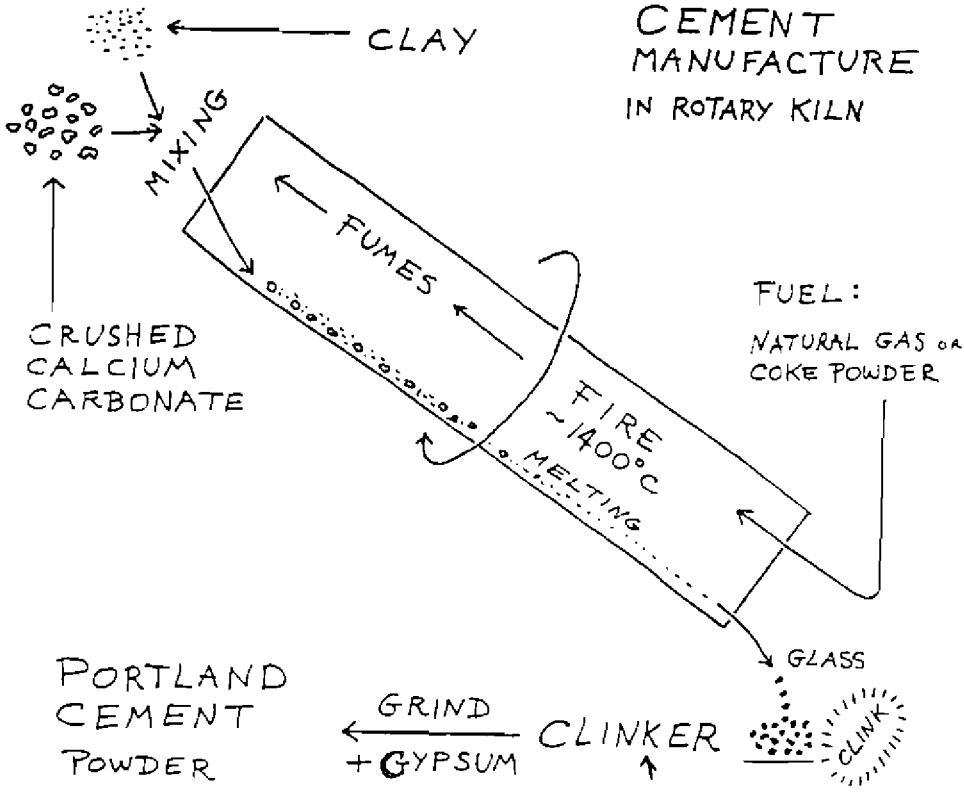
كما أنتج Frost ١٩١١م و Vicat ١٨١٨م مواد هيدروليكية عن طريق حرق المارل (حجر طينى جيرى) أو خليط من الطفلة والطباشير.. وقد أطلق على هذه المواد الهيدروليكية اسم الجير الهيدروليكى Hydraulic lime.

٦-٤- الأسمنت البورتلاندى Portland cement:

حصل أسبدن Aspdin ١٨٢٤ م (وهو انجليزى الجنسية) على براءة اختراع الأسمنت البورتلاندى ، وقام بتصنيعه عن طريق حرق الحجر الجيرى، ومسحوق الجير المحتوى على الطفلة، وأعاد تسخين الخليط فى درجة حرارة تراوحت بين ١٠٠٠ - ١٢٠٠ °م - والمنتج النهائى سمى الأسمنت البورتلاندى ، لأن لونه كان يشبه حجر البورتلاند Portland stone وقد كان هذا المنتج أقل جودة إذا ماقورن بالمواصفات الحديثة للأسمنت .

التطور التكنولوجى للأسمنت حدث بمعرفة مساعد أسبدن ويدعى Jonson عام ١٨٣٨م حيث اكتشف جونسون أن زيادة درجة إحراق مواد الأسمنت بحيث تتراوح درجة الحرارة بين ١٤٠٠-١٥٠٠ °م تسبب انصهار جزئى للسيليكات وتصبح زجاجية بعد التبريد .

وحديثا يستخدم الفرن الدوار لصناعة الأسمنت . انظر الشكل رقم (٣٨).



شكل رقم (٣٨) يوضح

خطوات صناعة الاسمنت البورتلاندى بواسطة الفرن الدوار

حيث تخلط الخامات بعد فرزها، بالنسب الصحيحة، وتوضع داخل الفرن الذى تصل درجة حرارته إلى ١٤٠٠ °م. وتخرج الخامات من الجانب الأخر فى شكل كتل زجاجية تسمى كلنكر Clinker يتم تسلمها من الفرن، هذه الكتل سريعة التفاعل مع الماء، وعند شكها تكون كتلة لدنه من مادة هشه نوعا فى وقت قصير .

وبالرغم من ذلك فإنه بعد عدد قليل من الأيـام قد تتكـون مـادة صلبـة نوعا ما، وتستمر تفاعلات الشك داخل المادة ويسـتمر معهـا تحسـن الخـواص الميكانيكية .

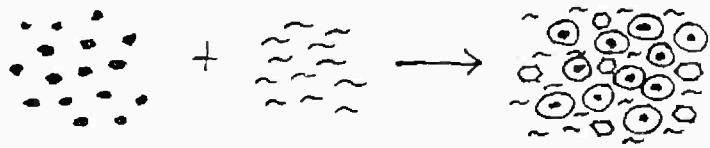
وعـادة تحـدث اختبـارات صلاحيـة الأسمنت بعد حوالـى شـهر مـن الصناعة، هذا على الرغم من أنها تتم كل ستة أيام . وطبقا للأسـاس النظـرى فـإن عمليـة شـك الأسـمنت تتـم بدايـة داخـل الأفـران حيـث تتكـون سـيليكات والومينات الكالسيوم ، نتيجه لتفاعل الجير الناتج عن اضافة الحجر الجيرى ، مع السيليكا الموجودة فى الطين – كما هو واضح من المعادلة الآتية :

$$C + A.S \rightarrow C_2S + C_3S + C_3A$$

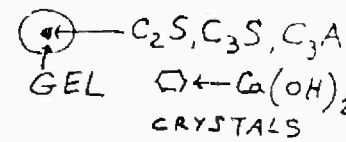
lime clay — calcium silicates & calcium aluminaes

سيليكات الكالسيوم والألومنيـوم الناتجـة عـن التفـاعل تتحـد مـع المـاء وتكـون هيدروكسيد كالسيوم مع مادة جيلاتينية (GEL) تحتوى على كالسيوم أقل من المركب الأساسى ،وذلك طبقا للمعادلة التالية

$$\left.\begin{matrix} C_3S \\ C_2S \\ C_3A \end{matrix}\right\} + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2 \ \& \ \text{CALCIUM SILICATES \& ALUMINATES (GEL)}$$



HYDRATION OF PORTLAND CEMENT



جدول رقم (٦) يوضح
الرموز المستخدمة فى كيمياء الأسمـــنت

Name of Compound	Chemical Formula	Abbreviaction
Alumina	Al_2O_3	A
Iron Oxide	Fe_2O_3	F
Lime	Ca O	C
Slaked Lime	$Ca(OH)_2$	CH
Silica	$Si O_2$	S
Water	H_2O	H
Carbon Dioxide	CO_2	C
Suiphur Trioxide	SO_3	S
Tri-Calcium Silicate	$3CaO\ SiO_2$	C_3S
Di-Calcium Silicate	$2CaO.\ SiO_2$	C_2S
Tri-Calcium Aluminate	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Calcium Iron Aluminate	$4CaO\text{-}Al_2O_3.\ Fe_2O_3$	C_4AF
*Calcium silicate Hydrate	$CaO\text{-}SiO_2\text{-}nH_2O$	CSH
**Calcium Aluminate Hdrate	$CaO.Al_2O_3.\ nH_2O$	CAH

*A family of compounds with varying C/S ratios and water content Example.

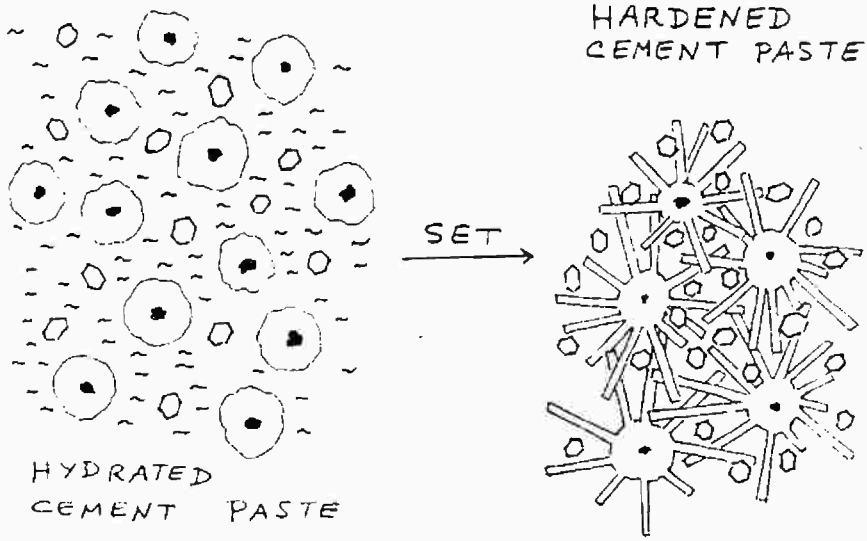
Tobermorite $C_5S_6H_2$

** A family of compounds with varying C/A ration and water content.

وأثناء تصلب الاسمنت تصبح مياه الخلط قلوية جدا (H 12-13) وذلك بسبب وجود الجير الحر . وفى مرحلة أخرى فان المياه تتخلل الجزيئات الصلبة فى (الجل) المتكون ، ويستمر التفاعل داخلها مؤديا إلى تكوين سهام ليفية Fibrous shoots تتكون بصفة أساسية من: سيليكات الكالسيوم المائية (CSH) .

وفى النهاية يتكون شكل شبكى من خلال المادة الكاملة التى تسبب التصلب .

وبعد جفاف الجير المتكون أثناء التفاعل يتحول بطء شديد إلى كربونات الكالسيوم وتبدأ المادة فى الحصول على قوتها ومكانتها .



شكل رقم (٣٩) يوضح

عملية شك الاسمنت البورتلاندى

ملاحظات :

عادة يضاف الجبس إلى خليط الأسمنت أثناء الصناعة وذلك للتحكم فى معدلات تفاعل الشك . والمواصفات القياسية الحديثة تسمح باضافة كمية تتراوح ين ١-٧٪ من الجبس المائى .

الرموز المستخدمة فى كيمياء الاسمنت موضحة فى الجدول رقم(٦).

٦-٥- الخرسانة الحديثة Modern concrete:

تصنع الخرسانة الحديثة من : اضافة الرمل والزلط أو كسر الصخور Crushed rocks إلى الأسمنت ، مع مراعاة النسب الصحيحة للخلائط وكذلك الخلط الجيد للكميات .

ويلاحظ أن المواد الخرسانية الهشة أو الصلبة تقاوم اجهادات الضغط بصورة جيدة ، لكنها لاتقاوم اجهادات الشد.

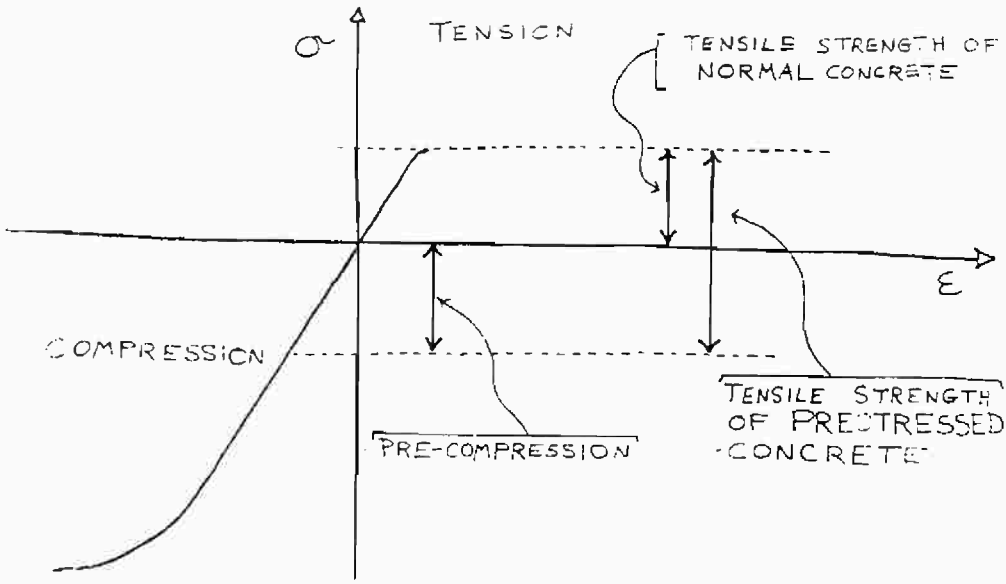
وضعف مقاومة هذه المواد لاجهادات الشد أمكن التغلب عليها حاليا باستخدام الحديد كمادة تسليح للخرسانة حيث أن الحديد له مقاومة عالية لاجهادات الشد.

الخرسانة المسلحة Reinforced concrete:

الحديد هو أكثر المواد شيوعا فى الاستخدام لتسليح الخرسانة وذلك لأن له تقريبانفس معامل تمدد الخرسانة (١٢×١٠^{-٦}) كما أن الأسمنت يلتصق جيدا بسطحه .

على الجانب الآخر فإن الأسمنت أثناء عملية الخلط يخلق بيئة قاعدية (High pH) وهذه تقلل من معدلات تآكل حديد التسليح.

وحديثا تم تحسين خواص مقاومة الشد للخرسانة ، وذلك باستخدام تكنيك الخرسانة سابقة الاجهاد Pre-stressed concrete حيث يتم ادخال أسياخ من الحديد Steel cables داخل الخرسانة ، وهذه تعمل على اخضاع قوى الشد – أى إضعافها – وفى المقابل تقلل من اجهادات الضغط للخرسانة وتكون النتيجة زيادة مقاومة الخرسانة سابقة الاجهاد لقوى الشد . انظر الشكل رقم (٤٠)



شكل رقم (٤٠) يوضح

الفرق بين الخرسانة العادية والخرسانة سابقة الإجهاد

٦-٦- عيوب الأسمنت البورتلاندى : Defects of portland cement

الأسمنت البورتلاندى لايحتوى فقط على سيليكات الكالسيوم والألومنيوم بل يحتوى أيضا علىكبريتات الكالسيوم ، كما يحتوى أيضا على بعض الأملاح القلوية التى تتكون عندما يستخدم فى صناعته الطفلة ، أو وقود يحتوى على صوديوم أو بوتاسيوم فى عمليات الحرق، مع ملاحظة أن نسبة القلويات فى الأسمنت ربما تصل لأعلى من ٢٪.

وكنتيجة فإن المواد الذائبة كليا أو جزئيا التى تتكون أثناء تفاعلات شك الأسمنت هى:

1- $Ca(OH)_2$		CALCIUM HYDROXIDE
2- Na (OH)		SODIUM HYDROXIDE
3- Na_2SiO_3	(AND OHER FORMULAS)	SODIUM SILICATES
4- Na_2SO4		SODIUM SULPHATE
5- $CaSO_4$		CALCIUM SULPHATE

واذا تسرب السائل المتكون أثناء تفاعلات شك الأسمنت إلى داخل مسام مواد بناء المبانى القديمة ، بطريقة ما ، فإنه قد يسبب بعض الأضرار .. وذلك للأسباب الآتية :

١- ظهور بقع سوداء على سطح الحجر ، بسبب تأثير القلويات على بعض معادن الحجر الجيرى والرملى .

٢- تكون تزهرات غير ذائبة جزئيا من السيليكا وكربونات الكالسيوم مثلما حدث فى معبدى الكرنك وبورو بودور Borobudur هذه التزهرات Efflorescences تشوه سطح الحجر ،وتكون صعبة الإزالة ، وربما أيضا تسبب تلف محلى Locally damage فى سطح الحجر أو الطوب ،وذلك عن طريق اجهادات التبلور Crystallization stress .

٣- اجهادات التبلور القوية تحدث بسبب كبريتات الصوديوم نظرا لكون هذا الملح قابل للذوبان فى الماء .

من أجل ذلك فإنه يجب استخدام الأسمنت قليل القلويات قليل الكبريتات ، لعمل الخرسانة التى قد تكون متصلة بالمبانى القديمة ، ولكن يجب أن نعلم أن هذا النوع من الأسمنت غير متاح دائما، أو غير موجود فى الأسواق .

كذلك يمكن استخدام الحواجز المائية لحماية المواد القديمة من ماء الأسمنت .

- بياض ومون الأسمنت Cement plaster & Mortars:

بياض ومون الأسمنت خطيرة جدا إذا استخدمت فى المبانى القديمة، وذلك للأسباب التالية :

١- أنها تغذى الأملاح الذائبة فى المبانى القديمة .

٢- أنها تتميز بقلة مسامها ،وبالتالى لا تسمح للمياه بالتبخر بسهولة ، لذلك فإن تسرب مياه المطر خلال الشروخ وتجمعها خلف طبقة البياض الأسمنتى قد تخلق قوى شد خلف هذه المونه سواء عند انخفاض الحرارة ، عن طريق التجمد Freezing أو عند ارتفاع درجة الحرارة ، عن طريق التبخر Evaporation وكنتيجة فإن البياض يتفكك بسهولة من فوق الحوائط ، أو تزداد رطوبة مواد البناء .

٣- الخرسانة الأسمنتية ذات كثافة عالية ، كما أن موادها عالية التوصيل الحرارى ، وأيضا تشجع عملية التكاثف ، لذلك يفضل إستخدام الخرسانة

منخفضة الكثافـــــــة فـى أعمـــــــال الـترميم للمبانـــــــى القديمـة الرطبـة Old damp building .

ملاحظة :

يجب أن يوضع فى الاعتبار أن استخدام الخرسانة المسلحة فى تدعيم المنشآت القديمة يشوبه كثير من الخطر، وذلك للأسباب التالية :

أ – معامل تمدد الخرسانة المسلحة أكثر من ضعف معامل تمدد جميع أنـواع الأحجار المعروفة ، وكذلك الطوب .

ب – المواد المكونة للخرسانة المسلحة قوية جدا ،ولها معامل مرونة مرتفع جدا Very High Elasticity Modulus .

ج – تعمل الخرسانة على تنمية إجهادات الضغط والشد ،وذلـك بسـبب تـأثير دورات الحرارة على موادها ، لذلك يجب وضع هذا فى الاعتبار عند تصميـم الخرسانة التى يتم ادخالها Inserted فى نظام البناء القديم .

د – المبـانى القديمـة التـى يسـتخدم فـى تدعيمهـا الخرسـانة المسـلحة تخضـع لعوامل النشوه Deformation وذلك لأن الخرسانة تفرغ كل إجهادات الشد المتعلقة بها علـى المـواد الضعيفـة المجـاورة لهـا أو المتصلـة بهـا – طـوب ، حجر ، مون – وهـذه المـواد الضعيفـة ، تسـتقبل نصيبهـا مـن الضغـوط التـى تكون عادة أكبر من قدرتها على التحمـل ، وبنـاء عليـه تـزداد معـدلات تحلـل وتلف مواد الإنشاء.

٦-٧- مون الجير والأسمنت والإضافات الأخرى :

Lime - Cement Mortars & Other Mixtures:

لكى نحصل على مون جيرية ذات خواص هيدروليكية ، وذات قوة مناسبة ، يجب أن نضيف إلى الجير المائى ، كمية صغيرة من الأسمنت .

على سبيل المثال: تضاف نسبة ١ بالحجم اسمنت إلى ٤ بالحجم جير مائى أى تكون النسبة بين الأسمنت والجير (١ : ٤) بعد ذلك يضاف الرمل بالكمية المناسبة .

والمونة المتكونة من الأسمنت مع الجير تصبح خالية من بعض عيوب مونة الأسمنت ، وتكون سهلة عند الاستخدام ، ويمكن الاعتماد عليها فى عمليات الترميم أكثر من مون الجير النقية Pure Lime Mortars أى غير المخلوطة بالأسمنت .

لذلك يجب كلما أمكن استخدام أسمنت منخفض القلوية Low Alkali مع مونة الجير المستخدمة فى الترميم لكى نحصل على خليط به أقل نسبة من الأملاح الذائبة .

وهناك طريقة أخرى للحصول على مونة متناغمة، أو منسجمة مع مواد البناء القديم ، وتكون قوية فى نفس الوقت ، حيث يتم تخفيف الأسمنت بكربونات الكالسيوم .

وغالبا فإن بعض الأنواع الحديثة من الجير الهيدروليكى Hydraulic limes فى الحقيقة تحتوى على أسمنت مخفف مع موالىء خاملة - غير نشطة - Inert fillers.

٦-٨- تلف الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة :

Deterioration of concrete and Reinforced Concrete:

الخرسانة العادية القوية قد توهم المرمم بأنها مادة غير قابلة للتلف ، خاصة إذا كانت مانعة للمياه .

أيضا الأحجار الصناعية ، كانت منتشرة الاستخدام فى ترميم المبانى الأثرية فى القرن (١٩، ٢٠) وكانت تصنع من كسر الحجر والأسمنت البورتلاندى .

وهذه وتلك ظهر فيها تلف كبير لأسباب عدة :

على سبيل المثال : السقف المتقاطع فىكنيسة St. Paul فى روما ، وتيجان أعمدة برج جرس الكنيسة، ظهر فيها تلف واسع الانتشار حوالى عام ١٨٧٥م وكان السبب فى ذلك التآكل المباشر بواسطة الأمطار الحمضية ، أو نتيجة تكون قشرة سطحية ، ثم تحلل أسقفها بواسطة تأثير عمليات التكاثف فى الجو الملوث .

وبصفة عامة فإن خرسانة الأسمنت تهاجم بواسطة أملاح الكبريتات الموجودة فى الماء ، مثل : ماء البحر .. وأيضا لأن الجير الموجود فى الأسمنت يكون عند تفاعل الشك مركبات الومنيوم ، وكبريتات (كبريتات الكالسيوم و الألومنيوم) التى تسمى Ettringite وهذه تتبلور مسببة ضغوط داخلية قوية Strong internal stress.

أيضا فإن الخرسانة المسلحة قد تتلف بسرعة إذا حدث بها بعض الشروخ ، وذلك لأن هذ الشروخ تسمح للماء بالوصول إلى حديد التسليح.

وكذلك فإن الجير الحى حول هذه الشروخ يتكربن بصورة كلية ، وبعد فترة زمنية قصيرة تظهر قطرات مياه متعادلة أو حمضية .

وبالتالى فإن حديد التسليح الذى يحفظ جيدا يبدأ فى التآكل ويزداد حجمه، وينتج عن ذلك ضغوط داخلية تتسبب فى زيادة الشروخ فى الخرسانة، وتعجل من عمليات التآكل.

لذلك يجب معالجة شروخ الخرسانة بسرعة عن طريق الحقن بواسطة الراتنجات الصناعية السائلة ، مع ملاحظة أنه يجب أن يضاف اليها المصلب أو المجمد قبل استخدامها فى عمليات الحقن .

أيضا الشروخ الدقيقة المتشابكة من الممكن غلقها كلية أثناء عمليات الترميم وذلك لوقف تآكل معدن الحديد The Metal Corrosion فى الخرسانة المسلحة .

******