الباب الرابع

الإضافات

(Admixtures)

مقدمة :

أولا : ماهي الاضافات

ثانيا : الغرض من الاضافات

ثالثا : تصنيف الاضافات

ا ــ إضافات تحسين قابلية التشغيل

ب ــ إضافات الهواء المحبوس

جـ ــ إضافات الغاز المحبوس

د ــ المنشطات والعوامل المساعدة

هـ ــ إضافات سدودية الماء

و ــ إضافات لتقليل التغير الحجمي

ز ــ إضافات معالجة الخرسانة

ح ــ إضافات مضادة للبكتريا

ط ــ إضافات ملونة للخرسانة

رابعا : دراسة بعض أنواع الاضافات الشائعة الاستخدام في الخرسانة

ا ــ كلوريد الكالسيوم

ب ــ المواد البوزولانية

جـ ــ خبث الأفران العالية

د ــ الحجر الجيري والرمل

خامسا : جداول تصميم كميات الاضافات

مقدمة :

إن أول استخدام للاضافات فى صناعة الخرسانة يكاد يكون قديماً قدم صناعة الخرسانة نفسها ، فقد استخدم الرومان بعضاً من هذه الاضافات مثل الدماء واللبن فى صناعة الخرسانة من الاسمنت البوزولانى(pozzolane)، والمعروف أن البيموجلوبين الموجود فى الدم له تأثير واضح فى إدخال الهواء المحبوس فى الخرسانة كما أن له خاصية زيادة التعجن أو مرونة تعجن المونة ، وربما كان الدافع إلى استخدام الدماء هو الاحتفاظ بلدونة أكبر للمونة المستخدمة فيمكن تشكيلها بسهولة حسب الحاجة،ولم تكن خاصية إدخال الهواء المحبوس (Air Entrainment) معروفة أيام الرومان .

ولم ينتشر استخدام الاضافات فى صناعة الخرسانة أو المونة قبل عام ١٩٣٠ عندما اكتشفت فوائد إضافة مساعدات الطحن والعوامل المنشطة وإضافات إدخال الهواء المحبوس ، وفى عامى ١٩٤٣ ، ١٩٤٤ اعتمدت هيئة المواصفات القياسية الامريكية (A.S.T.M) إضافة بعض المواد الكيميائية مثل: راتنج فينزول(Vinsol Resin)— الداركس (Darex) — ن . تير (N. Tair)— الايرلون (Airalon) . كإضافات لادخال الهواء المحبوس ، ولكن فى عام ١٩٥٠ تطورت المواصفات القياسية الأمريكية بحيث تعفى من تقييم مثل هذه الاضافات وبدلا من النص على استخدام مواد معينة فقد نصت على إجراء اختبارات خاصة تجرى على مسئولية المنتج او المستهلك، ويستخلص من هذه الاختبارات نتائج معينة ذات حدود معينة وبذلك ألقت عبء تقييم الاضافات على عاتق المنتج والمستهلك معاً .

اولا : ما هى الاضافات

الاضافات هى أى مادة خلاف الاسمنت والركام والماء تستعمل كمكون أو عنصر خامس فى الخرسانة وتضاف إلى ماء الخلط أو العجينة مباشرة قبل أو بعد الخلط أو أثناء طحن الاسمنت وذلك بغرض إعطاء الخرسانة الطازجة أو الخرسانة المتصلدة خواص معينة مطلوبة مثل التعجيل أو الإبطاء من زمن الشك أو بغرض الحصول على خرسانة غير منفذة للماء أو خرسانة خفيفة . . الخ .

وقد يكون الغرض من الإضافات هو تحسين خواص الخرسانة الطازجه مثل تحسين

القابلية للتشغيل أوتحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل زيادة المقاومة الابرى أو زيادة المقاومة المبكرة (Early strength) للخرسانة .

وفى بعض الحالات قد ينتج عن استخدام الإضافات تأثيرات ضارة لبعض خواص الخرسانة بالرغم من تحسينها لخواص أخرى فمثلا المواد المسحوقة سحقاً ناعماً تحسن قابلية الخرسانة للتشغيل إلا أنها قد تضعف مقاومة الخرسانة وتزيد مقدار انكماشها (Shrinkage) لذلك يشترط عند استخدام الإضافات مراعاة ما يلى :

١ ــ ألا تزيد تكاليف الخرسانة كثيراً أو أن تتناسب الزيادة فى التكاليف مع الفائدة المطلوبة من استخدام الإضافات .

٢ ــ أن ينعدم أويقل تأثيرها الضار على خواص الخرسانة أو بمعنى آخر مراعاة التأثيرات المضادة التى يمكن حدوثها بالنسبة للخواص الأخرى خلاف تلك التى يقصد تحسينها باستعمال الإضافات .

٣ ــ أن يكون الحصول على الخواص المطلوبة للخرسانة باستخدام إضافات بكمية صغيرة (غالباً حوالى ٠,٠٠٥ إلى ٢ ٪ من وزن الأسمنت) لاتغير كثيراً من النسب الأساسية لمكونات الخلطة .

وغالبية الإضافات مواد محضرة مسجلة تحت أسماء تجارية وبصفة عامة نحتاج إليها بكميات صغيرة وفى الوقت الحاضر يوجد الكثير من الإضافات التى يختلف مدى شيوعها على مدى إعطائها نتائج حسنة من واقع التجارب المعملية والخبرة العملية إلاأن هذه الأنواع العديدة من الإضافات يمكن تقسيمها إلى ما يأتى :

(ا) العوامل المساعدة على الطحن (Grinding Aids)

وهى العوامل التى تضاف عند طحن الأسمنت لتساعد فى الطحن سواء بزيادة معدل الإنتاج ، أو زيادة النعومة بدون زيادة محسوسة فى معدل الإنتاج مع ملاحظة أن هذه الإضافات لاتحدث تغييراً ملموساً فى خواص الأسمنت الناتج .

(ب) الإضافات (Additions)

وهى المواد التى تضاف عند الطحن النهائى للأسمنت بغرض تغيير بعض خواص الأسمنت الناتج ومثال ذلك إضافات إدخال الهواء المحبوس والجبس . . .

(جـ) إضافات الخلط (Admixtures)

وهى تلك المواد التى تضاف أثناء خلط الأسمنت بالركام والماء وتستخدم لتحسين بعض خواص الخرسانة أو العجينة الناتجة .

ولقد نص فى أسس التصميم والتنفيذ بالنسبة لتحديد الاضافات على ما يلى :
يشترط فى الاضافات المستعملة ألا يكون لها تأثير ضار على الخرسانة أو أسياخ التسليح ويجب تحديد الحد الأقصى للكمية المستعملة من كل نوع من الإضافات (كنسبة مئوية من وزن الأسمنت) ويشترط فى الخرسانة المحتوية على الاضافات ألا تقل مقاومتها للضغط والانحناء ومقاومة التماسك بينها وبين أسياخ التسليح عن ٨٥٪ من القيم المناظرة فى حالة الخرسانة الناتجة بدون إضافات .

وفى مجال هذا الكتاب سوف نعالج مجموعتى الاضافات وإضافات الخلط فى مجموعة واحدة حيث أنه من دراسة تصنيعها وطرق استخدامها وجد أن فريقاً من المستهلكين يستخدمون أسمنتاً مطحوناً معه هذه الاضافات وفريقاً آخر يفضل خلط هذه الاضافات مع الأسمنت فى موقع العمل وذلك لإمكان الخلط بنسب معينة تساعد على التحكم فى المواصفات المطلوبة للخرسانة .

أى أنه فى معظم الأحيان لايختلف تأثير هذه الاضافات سواء أضيفت أثناء الطحن أو فى موقع العمل وقد يرى المهندس زيادة نسبة الاضافات فى موقع العمل عن النسبة التى سبق طحنها مع الأسمنت وذلك لتحقيق غرض من الأغراض أولتوفير خواص معينة فى الخرسانة الناتجة .

ثانيا : الغرض من الاضافات

تستخدم الاضافات لأغراض كثيرة بل قد تستخدم لأكثر من غرض واحد إلا أننا يمكن أن نجمل مجموعة الأغراض التى يمكن أن تستخدم فيها الاضافات فيما يلى :

١ — تحسين قابلية التشغيل للخرسانة الطازجة .
٢ — تقليل النضج .
٣ — تعجيل الشك أوالتصلد للحصول على مقاومة مبكرة وقد تكون عالية .
٤ — إبطاء الشك والتصلد فى ظروف صب خاصة أو فى الأجواء الحارة .
٥ — تقليل الحرارة المتولدة من الاماهة .

٦ ــ المحافظة على درجة حرارة حفظ الخرسانة .
٧ ــ تقليل ظاهرة الانكماش عند الشك والتصلد .
٨ ــ تعويض أو إنقاص بعض التفاعلات الكيميائية .
٩ ــ تحسين المتانة .
١٠ ــ تحسين القدرة على سدودية الماء (Water tightness) وتقليل النفاذية (Permeability) .
١١ ــ تحسين مقاومة التآكل والتحمل مع الزمن .
١٢ ــ إنتاج أنواع من الخرسانة تتميز بخفة الوزن .
١٣ ــ زيادة ثبات الخرسانة وتقليل التغيرات الحجمية .
١٤ ــ إكساب اللون للحصول على خرسانة ذات ألوان مختلفة .

ويختلف الغرض من الإضافة بحسب نوع المنشأ وظروف استعماله لذلك تتنوع الإضافات من منشأ إلى آخر بل قد تتنوع فى نفس المنشأ الواحد بحسب موقع الخرسانة فى المنشأ المنتهى .

ثالثا : تصنيف الاضافات

يمكن تصنيف الإضافات إلى مجموعات بحسب الغرض منها كما يلى :

(ا) إضافات تحسين قابلية التشغيل (Workability Admixtures.)
(ب) إضافات الهواء المحبوس (Air Entrained Admixtures.)
(حـ) إضافات الغاز المحبوس (Gas- Forming Admixtures.)
(د) للنشطات والعوامل المساعدة (Activators & Catalyste.)
(هـ) إضافات سدودية الماء (Water tightness Admixtures.)
(و) إضافات تقليل التغير الحجمى (Volume Change Admixtures.)
(ز) إضافات معالجة الخرسانة (Curing Admixtures.)
(ح) إضافات مضادة للبكتريا (Antipacterial Admixtures.)
(ط) إضافة ملونة للخرسانة (Coloured Concrete ..dmix.ures.)

وفيما يلى موجز لأهم هذه الأنواع من الإضافات الشائعة الاستخدام فى مجال تكنولوجيا الخرسانة .

(أ) إضافات تحسين قابلية التشغيل :

ويمكن تقسيم هذه الاضافات إلى ما يأتى :

١ ــ المواد المسحوقة ناعماً (Finely divided powders)

٢ ــ العوامل المبللة (Wetting Agents)

١ ــ المواد المسحوقة ناعماً :

هى تلك المواد التى تضاف للخرسانة فتسهل نقلها ووضعها فى الفرم بدون حدوث انفصال حبيبي أو نضح لمكوناتها ومن أمثلتها الجير المطفى (Hydrated lime) والتربة الدياتومية (Diatomaecous earth) ودقيق الصخر (Rock flour) وخبث الأفران المطحون والرماد المتطاير (Fly ash) والكاولين (Kaolin) وتضاف بنسبة لغاية ٥ ٪ من وزن الأسمنت وقد يستلزم أحياناً زيادة الكمية لتصل إلى ٢٠٪ .

وتطحن المواد السالفة الذكر طحناً ناعماً جداً فيمثل نعومة الأسمنت أو أكثر وتظهر فائدتها بصورة جلية فى الخلطات التى ينتقص ركامها المقاس الناعم أى فى الخلطات الخشنة (Harsh Mixes) حيث أنها تسهل قابلية التشغيل دون زيادة كمية الماء لهذه الخلطات الأمر الذى يحسن قابلية التشغيل دون حدوث ضعف بمقاومة الخرسانه .

وتظهر الحاجة لهذه المواد عندما يلاحظ نقص واضح فى كمية الركام المار من منخل رقم ٥٢ أو رقم ١٠٠ حيث ينتقص بذلك الوسط الذى يحمل الركام ويمنع الانفصال الحبيبى كما يلاحظ هبوط فى درجة التشغيل خاصة فى أماكن التسليح العالى المتشابك التى تكون فى أمس الحاجة إليه ولذلك تكون فائدة الإضافة هنا لتعويض هذا النقص فى تدرج الركام .

ومن جهة أخرى قد تضاف هذه الإضافات إذا كانت نعومة الأسمنت خشنة لتحسن من خواص الخلطة الخرسانية .

ويلاحظ أن استخدام المواد المسحوقة ناعماً بالخرسانة بكمية كبيرة يؤدى إلى ضعف

المقاومة وزيادة الانكماش للخرسانة نتيجة ضرورة زيادة ماء الخلط اللازم ليقابل الزيادة الكبيرة فى المساحة السطحية لمواد الخرسانة والتى سببتها زيادة المواد الناعمة.

٢ ــ العوامل المبللة :

هناك أنواع أخرى من الإضافات التى تستخدم لتحسين قابلية التشغيل وهذه المواد ليست موجودة فى الطبيعة على الصورة التى تكون عليها أثناء إضافتها للخرسانة بل هى مركبات محضرة طبقاً لعمليات معينة وتوجد تحت أسماء تجارية ، وبصفة عامة يكون دور هذه المواد هو زيادة نسبة الرطوبة أو ترطيب الخرسانة أو تعمل على تشتيت الحبيبات عن بعضها البعض فتزداد قابلية التشغيل حيث تسهل حركة هذه الحبيبات وقد تطحن هذه الإضافات مع الأسمنت لتنتج أنواعا خاصة منه كما قد تذاب هذه المواد فى ماء خلط الخرسانة مثل السترات وكلوريد الكالسيوم وبعض أنواع الزيوت وبعضها قد يستخدم على هيئة مسحوق مثل المواد البوزولانية وغالبا ما تظهر الحاجة ماسة إلى زيادة قابلية التشغيل فى حالة الخرسانة ذات الركام الكبير ذى المقاس الاعتبارى الكبير الذى يزيد على ٤٠ مم وذلك فى الخرسانة الكتلية وخرسانة السدود .

ومن أمثلة المواد المبللة الشائعة الاستعمال المركبات العضوية المعاملة بحمض السلفونيك (Shulphonated Organic Compounds) وأملاح الكربوهيدات (Crabohydrate Salts) وتضاف بمقدار ٠,٠١٪ إلى ٠,٠٥٪ من وزن الأسمنت بغرض تقليل الشد السطحى لحبيبات الركام والأسمنت فتسهل عملية تجميع الحبيبات مع بعضها البعض وتسهل بالتبعية القابلية للتشغيل دون الحاجة إلى إضافة ماء زائد للخلطة الخرسانية

وهناك عدد كبير من أنواع الإضافات المحسنة لقابلية التشغيل نذكر منها ما يلى :

الجير الهيدروليكى (الجير المبتل) :

كان يستخدم قديما كمادة مضافة اعتقاداً أنه يعمل على تحسين الخواص التشغيلية والتحكم فى الماء ، وقيمته على أية حال مشكوك فيها من حيث فائدتها كمادة مضافة لخليط الخرسانة .

ــ مالئات المسام :

مثل الكاولين والأتربة الرسوبية والأحجار المطحونة وقيمة كل منها مشكوك فيه فهى بينما تزيد من قابلية التشغيل والترابط والالتصاق فإنها تحتاج إلى نسبة عالية من الماء

بالنسبة للأسمنت التى بدورها تقلل من المقاومة وكذلك يزداد زمن الشك والجفاف بإضافة هذه المواد .

— الرمل البركانى :

وهو مادة تتفاعل مع أى كمية من الجير المنشق أثناء عملية شك الأسمنت ولهذا يعمل على تحسين متانة الخرسانة ويكسبها مقاومة ضد الكبريتات والماء ولكنه يقلل من صلابة الخرسانة ويعتبر هذا من أهم الاعتراضات التى تحد من استخدام الرمل البركانى كمادة مضافة للخرسانة أو كأحد مكونات الأسمنت .

— الرماد المتطاير :

ينتج الرماد المتطاير خلال عملية حرق فحم الوقود، وقد أصبحت محطات القوى هى المصدر الرئيسى للامداد به وهو يحتوى على كمية من الفحم غير المحترق والنسبة التى يجب أن يوجد بها فى حالة استخدامه كمادة مضافة للخرسانة حوالى ٨٪ من وزن الأسمنت وتأثير الرماد المتطاير يشبه إلى حد ما تأثير الرمل البركانى ويعمل الرماد على تأجيل الشك الابتدائى وعند استبدال مايقرب من ٢٠٪ من الأسمنت بالرماد المتطاير نحصل على نتائج حسنة

(ب) إضافات الهواء المحبوس .

هى مواد تضاف إلى الأسمنت قبل أو بعد طحنه أو المونة أو الخرسانة أثناء خلطها وتسبب إدخال الهواء أو حبسه أثناء وجودها فى مخلوط مع غيرها .

ومن أنواعها راتنجات الخشب الطبيعى والعوامل المبللة المختلفة مثل أملاح الفلزات القلوية كالصوديوم أو الصابون المذاب فى الراتنجات الحمضيه .

ويلاحظ أنه من الضرورى أن يكون الهواء المحبوس على صوره فقاعات صغيرة لكى يكون السطح الناتج من أقل حجم هوائى كاف لأن يغطى أكبر مساحة محيطة ويجب ألا نخلط بين الفقاعات الصغيره الناتجة من العوامل المدخلة للهواء وبين الفجوات الناتجة من التماسك الضعيف ولقد حددت المواصفات نسبة الفراغات بما يتراوح بين ٣,٥ — ٦,٥ ٪ بالحجم ويلاحظ أن أثر حبس الهواء بصفة عامة هو :

١ — زياده قابلية التشغيل والتحمل مع الزمن .

٢ — تقليل الكثافة والمقاومة .

٣ — تقليل النضح والانفصال الحبيبى بين المكونات .

ولقد استحدثت فى السنين الأخيرة بعض المواد التى تضاف للخرسانة بغرض حبس كمية من فقاعات الهواء الدقيقة الحجم . وهذه الطريقة تزيد من مقاومة الخرسانة للتجمد وتأثير ذوبان الجليد وتحقق بعض الأغراض الأخرى . وهذه الإضافات تعتبر من أكبر التطورات التى حدثت فى صناعة الخرسانة فى فترة العشرين سنة الأخيرة ويعتبر الاستخدام الرئيسى لهذا النوع من الخرسانة هو خرسانة الطرق .

وعند استخدام هذه الإضافات فإن فقاعات صغيرة جداً تنتشر خلال الكتلة الخرسانية ويتم ذلك بإحدى الطريقتين الآتيتين :

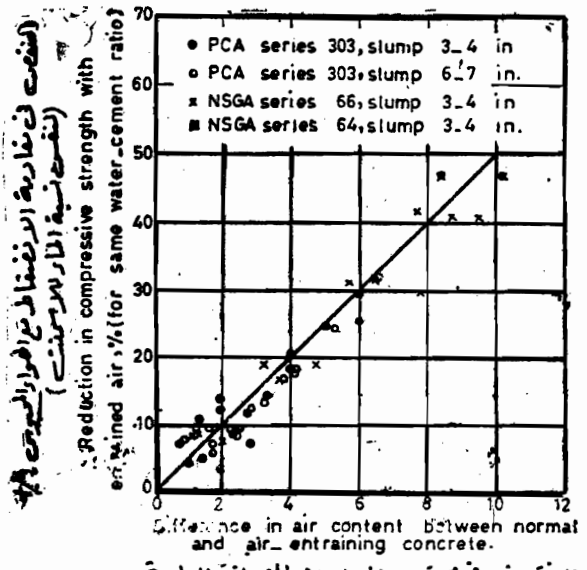
١ ــ إضافة مواد تحدث رغاوى (Foaming Agent) وذلك أثناء خلط الخرسانة مثل المركبات العضوية كالراتنجات الطبيعية (Natural Resins) والزيوت (Oils) والشحومات النباتية والحيوانية (Animal & Vegetable Fats) والعوامل المبللة مثل الأملاح القلوية وصابون السلفونيك .

٢ ــ استخدام مواد تتفاعل مع الأسمنت عند إضافة ماء الخلط إليه منتجة غازاً (Gas) مثل الهيدروجين ، على هيئة فقاعات دقيقة كثيرة . ومن أمثلة مسحوق الألومنيوم ومسحوق الزنك التى تتفاعل مع القلويات الموجودة بالأسمنت منتجة الهيدروجين وكذلك مثل بيروكسيد الهيدروجين (Hydrogen Peroxide) الذى ينفصل منه الهيدروجين أثناء التفاعل . ويمكن الحصول على فقاعات الهواء المحبوس السابقة إضافتها للمواد أثناء عملية الخلط أو باستخدام أسمنت خاص هو الأسمنت ذو الهواء المحبوس (Air Entrained Cement) حيث تضاف هذه المواد إلى الأسمنت أثناء الصناعة ويتكون الهواء المحبوس عند إضافة ماء الخلط إلى الأسمنت أو الركام بتكون فقاعات محتوية على هواء من الجو وليس غازاً من التصاعد أثناء التفاعل .

وتستخدم هذه الإضافات بنسبة تتراوح بين ٠,٠١ ٪ أو ٠,٠٥ ٪ من وزن الأسمنت ويلاحظ أنه بالإضافة إلى أن استعمال هذه المواد يمكن من حبس الفقاعات الهوائية فى الخرسانة فإنه يمكن أيضاً من خفض محتوى الرمل المستخدم بالخرسانة بمقدار يعادل حجم هذه الفقاعات الهوائية . وأيضاً كل ١ ٪ من الهواء المحبوس تؤدى إلى إمكان إنقاص الماء فى الخلطة بنسبة ٣ ٪ بدون حدوث أى تغير فى قوام الخرسانة مع إزدياد قليل فى القابلية للتشغيل . وباستعمال هذه الإضافات فى الخرسانة التى تتعرض بالطرق

من مكان الخلط إلى مكان الصب يمكن التحكم فى مقاومة الخرسانة بحيث لا تتغير إلا بقدر ملحوظ .

ويجب عدم استخدام هذه الاضافات إلا إذا كانت هناك إمكانية للتغاضى عن النقص المنتظر فى المقاومة كما تكون نسبة الاضافات على أساس مقدار النقص المسموح به فى مقاومة الضغط الخرسانة الناتجة حيث أن كل ١٪ تقريباً من هذه المواد تؤدى إلى نقص يتراوح بين ٣٪، ٤٪ من مقاومة الخرسانة المتصلدة بعد ٢٨ يوماً . كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ١).



الفرق فى محتوى الهواء بين الخرسانة العادية والخرسانة ذات الهواء المحبوس

REDUCTION IN COMPRESSIVE STRENGTH WITH ENTRAINMENT OF AIR WHEN WATER-CEMENT RATIO IS MAINTAINED CONSTANT.

النقص فى مقاومة الانضغاط فى الخرسانة ذات الهواء المحبوس عند حفظ نسبة الماء للأسمنت ثابتة

شكل رقم (٤ — ١)

ولا يكون لهذه الاضافات تأثير على مقاومة الخرسانة للتجمد أثناء الخلط عند درجة الحرارة المنخفضة أو لفعل ذوبان الجليد إذا ما كانت بنسبة أقل من ٣٪ وتتراوح نسبة الفراغات الهوائية المحبوسة بالخرسانة عند إضافة هذه المواد بين ٣ ٪، ٦٪ بالنسبة لخرسانة متوسطة ذات مقاس اعتبارى أكبر ٤٠ مم ولكن بالنسبة للخرسانة ذات الركام الأقل مقاساً فإنه يسمح بأن تكون نسبة هذه الفراغات أكبر من المقدار السابق وتصل إلى ٩ — ١٠ ٪

ولما كان استعمال هذه الاضافات بكميات قليلة فإن طحنها مع الأسمنت يجعل فائدتها أكثر حيث يزيد من تأثيرها على تشتيت حبيبات الأسمنت عن بعضها البعض أى يساعد على حبس فقاعات الهواء داخل عجينة الأسمنت

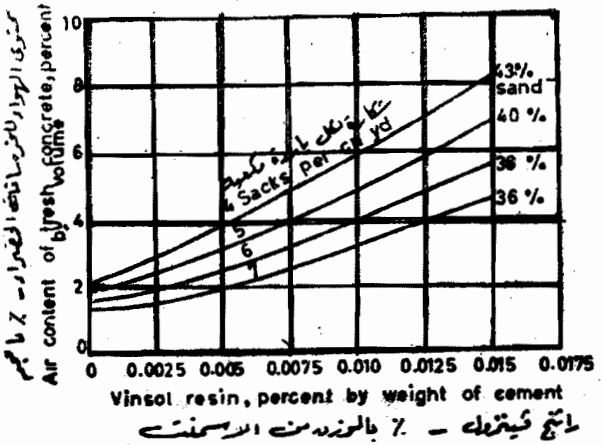
وتغير نوع الأسمنت ، ونسب الخلط ، وطريقة الخلط ، ونوع الخلاط المستخدم ودرجة الحرارة وبعض المتغيرات الأخرى ، كل ذلك يؤثر فى كمية الفقاعات الهوائية المحبوسة وهناك رأى يجزم بأن إضافة مثل هذه المواد بالخلاط أثناء الخلط تؤدى إلى زيادة فى كمية الهواء المحبوس فى بعض الحالات الخاصة .

وعند زيادة محتوى الأسمنت لكل متر مكعب يجب زيادة نسبة المادة المضافة للحصول على نفس كمية الهواء المحبوس بالخرسانة ، ويختلف تأثير زمن الخلط على كمية الهواء المحبوس باختلاف نوع المادة المضافة للحصول على الهواء المحبوس وكذا بالنسبة عما إذا كانت هذه المادة المضافة تضاف أثناء الخلط بالخلاط أو إذا كان الأسمنت نفسه يحتوى عليها وعموما لايتغير محتوى الهواء المحبوس بتغير مدة الخلط فى حالة زمن الخلط المعتاد ولكن إذا زاد زمن الخلط فى المدى من ٥ — ١٠ دقائق فإن محتوى الهواء المحبوس يختلف فيقل أو يزداد عن المعتاد وتكون القيمة العظمى لكمية الهواء المحبوس بالخرسانة عند مايكون زمن الخلط من ٣ — ٥ دقائق .

وبزيادة محتوى الماء فى الخلطة تزداد كمية الهواء المحبوس ويقل محتوى الهواء المحبوس إذا كانت درجة الحرارة ٢٧,٧م (١٠٠ ف) عنه إذا كانت ٢١,١م (٧٠ ف) وتزداد كمية الهواء المحبوس إذا كانت درجة الحرارة ٤,٤م (٤٠ ف) فإذا ثبتت كل العوامل وغيرت درجة الحرارة فإن كمية الهواء المحبوس تتغير تغيراً عكسياً مع درجة الحرارة .

وتؤثر عملية هز ودمك الخرسانة بعد صبها على كمية الهواء المحبوس فتقل بمقدار الخمس عما كانت عليه بعد صب الخرسانة .

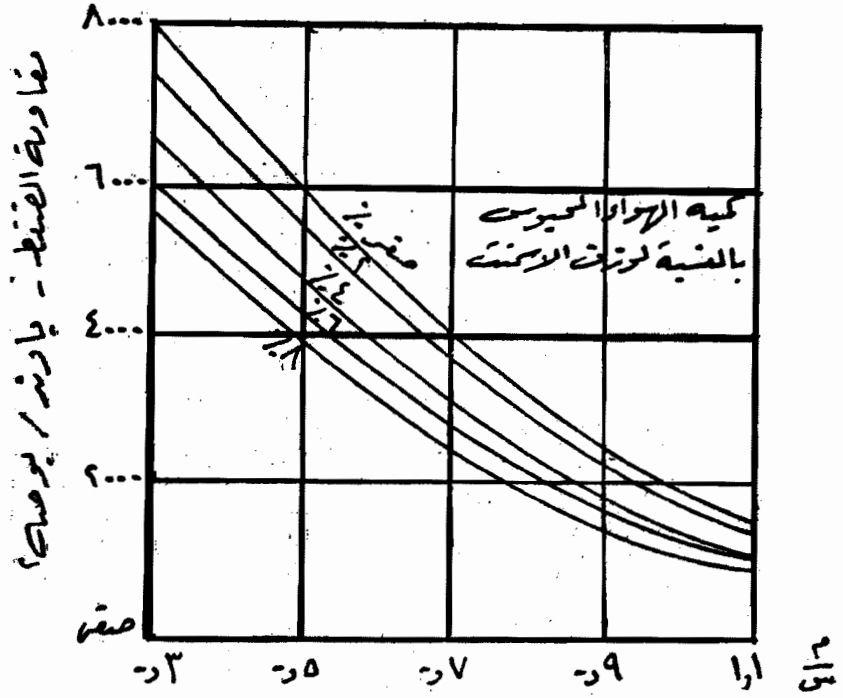
وكلما زادت كمية الاضافات كلما زادت كمية الهواء المحبوس الناتج كما فى شكل رقم (٤ — ٢) ولذلك يراعى عدم إجراء هذه الزيادة لأنها تحدث تأثيراً ضاراً بتقليل مقاومة الخرسانة للضغط كما يتبين من الشكل رقم (٤ — ٣) ويحسن ألا يزيد الهواء المحبوس عن ٦ ٪ من حجم الخرسانة، والعناية بصناعة هذه الخرسانة باستخدام الخلط الميكانيكى والمراقبة والتحكم الجيد فى جميع خطوات الصناعة فى موقع العمل مع مراعاة أن تكون نسب مكونات الخرسانة صحيحة تماما .



EFFECT OF AMOUNT OF VINSOL RESIN ON AIR CONTENT OF CONCRETE MIXES OF CONSTANT CEMENT CONTENT. MAXIMUM AGGREGATE 1 in., 3 TO 4 in. SLUMP.

تأثير كمية راتنج فينزول على محتوى الهواء في خلطات الخرسانة ذات محتوى الاسمنت الثابت . أكبر مقاس للركام ١" والهبوط من ٣ ← ٤"

شكل رقم (٤ — ٢)



شكل رقم (٤ — ٣) تأثير الهواء المحبوس على مقاومة الضغط للخرسانة

(جـ) إضافات الغاز المحبوس : (Gas-Forming Admixtures)

يلاحظ أثناء حدوث عملية الفك للخرسانة ميل حبيبات الركام الكبيرة للحركة إلى أسفل أى الغوص فى كتلة الخرسانة ويرجع ذلك إلى خروج الماء إلى سطح الخرسانة مع حبيبات الأسمنت الرفيعة مكوناً الربد (Laitance) ولهذا السبب تظهر فى بعض الخلطات الخرسانية فراغات تحت حبيبات الركام الكبيرة أو تحت أسياخ حديد التسليح .

ويمكن منع تكون هذه الفراغات عن طريق بعض أنواع الاضافات التى تستعمل مع الخرسانة وتنتج عند إضافتها وخلطها بالماء غازات نتيجة لحدوث تفاعل كيميائى وتكون كمية هذه المواد بحيث يعادل حجم الغاز الناتج مقدار التغير فى حجم الخرسانة نتيجة لهبوط حبيبات الركام الكبير داخل الكتلة الخرسانية بالقرم . وتساعد الغازات المتولدة على تحسين مقاومة الخرسانة لفعل التجمد الحادث عند صبها فى الأجواء الباردة بنفس الطريقة التى تحدث عند استعمال الاضافات التى تسبب الهواء المحبوس بالخرسانة ولكن بدرجة أقل حيث أن الفراغات الناتجة تكون بحجم أكبر ومتباعدة عن بعضها البعض.

وقد تستخدم هذه الإضافات لانتاج خرسانة أو مونة ذات وحدة وزنية صغيرة.

والاضافات التى تضاف إلى الخرسانة لهذا الغرض هى مسحوق الألومنيوم والزنك وفوق أكسيد الأيدروجين . ومسحوق الألومنيوم هو المستخدم غالباً وينتج غاز الايدروجين نتيجة للتفاعل الكيميائى الذى يحدث بينه وبين القلويات الموجودة فى الأسمنت وذلك أثناء إماهة الأسمنت وباستعمال فوق أكسيد الايدروجين ينتج أكسجين ولكن تفاعله سريع نسبياً .

(د) المنشطات والعوامل المساعدة :

المنشطات هى تلك المواد التى تساعد عند خلطها بالأسمنت على الحصول على مقاومة عالية فى وقت مبكر أى أنها تنشط التفاعل بين مركبات الأسمنت والماء وهى تدخل فى التفاعلات الكيميائية بين الأسمنت والماء وترفع من سرعة هذا التفاعل ولكنها أيضاً تستهلك فى نفس الوقت .

فمثلا باستخدام كلوريد الكالسيوم (Ca C l_2) فإن مقاومة الأسمنت تتحسن

فى حدود ٧ أيام ويكفى للحصول على نتائج طيبة إضافة نسبة لا تتعدى ٠,٢٪ من وزن الاسمنت ، كما أنه قد وجد أن إضافة كلوريد الكالسيوم تخفض من تأثير درجة حرارة التجمد بفعل انخفاض درجة الحرارة .

وقد كتب العالم شيدلر (J.J. Shideler) فى عام ١٩٥٢ تقريراً عن تأثير كلوريد الكالسيوم فى تحسين خواص الاسمنت البورتلاندى وقد تضمن التقرير أن تأثير كلوريد الكالسيوم على التمدد الناتج فى الخرسانة من استخدام الركام القلوى وعلى فعل الكبريتات على الخرسانة يمكن قياسه ولكن ليس بدرجة ملموسة ، ومع ذلك فإن تأثير الركام القلوى وتأثير الكبريتات ليست بالمشكلة التى تواجه فى كل مكان بل إنها تختص بمواقع محددة وقليلة .

والعوامل المساعدة هى مواد كيميائية تنشط التفاعل الكيميائى ولكنها لا تتغير أثناءه ولا تستهلك ، وأكثر العوامل المساعدة استخداما مع الاسمنت الكحول الأثيلى ثلاثى الأمين (Triethanolamine) وتظهر له تأثيرات مختلفة باختلاف مكونات الاسمنت أى على حسب نوع الاسمنت ويكون أعظم أثراً عند استخدامه مع الاسمنت المحتوى على نسبة عالية من ألومينات ثلاثى الكالسيوم . وهو يزيد المقاومة المبكرة للخرسانة ولكن بدرجة أقل من كلوريد الكالسيوم ، ويعتبر أمين ثلاثى الاثانول حالياً العامل المساعد الفعال فى المركب التجارى المعروف باسم T. D. A. .

ويمكن تقسيم أهم المنشطات والعوامل المساعدة إلى مجموعتين رئيسيتين بحسب الغرض من استخدامها .

١ ــ إضافات لتعجيل الشك (Accelerators) .

٢ ــ إضافات لتبطىء الشك (Retarders) .

١ ــ إضافات لتعجيل الشك :

تقوم هذه الاضافات بتقصير زمن الشك وزيادة معدل التصلد (Rate of hardening) المصحوب بزيادة فى معدل الحرارة المنبعثة المبكرة وأيضاً بزيادة فى المقاومة المبكرة للخرسانة .

ويمكن استخدام هذه الإضافات للحصول على خرسانة تقاوم التجمد فى الأجواء الباردة حيث أن هذه الاضافات تجعل الخرسانة تشك قبل حدوث تأثير ضار نتيجة تجمدها بعد صبها مباشرة . وذلك لأن كمية الحرارة الناتجة من تفاعل الماء والأسمنت تكون كافية للمحافظة على ماء الخلط فى صورة سائلة .

ويراعى أن زياده معدل تصلد الخرسانة باستخدام إضافات معجلات الشك يهدف إلى ما يأتى :

١ — إزالة الفرم مبكراً .

٢ — الاسراع فى استخدام المنشأ

٣ — تقليل فترة معالجة الخرسانة.

٤ — إزالة تأثير إبطاء الشك فى درجات الحراره المنخفضة وما يترتب عليه من آثار ضارة .

٥ — تعويض الابطاء فى زمن الشك والذى قد يكون نتيجة استخدام إضافات أخرى لتحسين خواص أخرى .

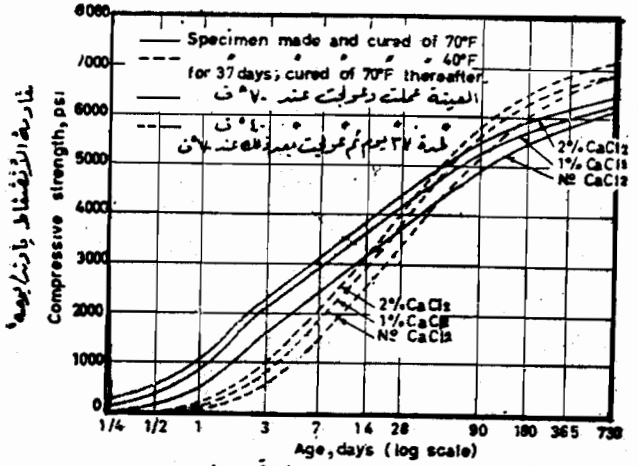
ومعظم المواد التى تستعمل كإضافات معجلة التصلد تحوى كلوريد الكالسيوم أو السليكات أو بعض المركبات العضوية مثل الكحول الاثيلى ثلاثى الأمين .

ويعتبر كلوريد الكالسيوم من أهم هذه الاضافات ويستخدم بنسبة تتراوح من ١٪ إلى ٣٪ ويبين الجدول رقم (٤ — ١) تأثير كلوريد الكالسيوم على سرعة الشك مع ملاحظة أن الزياده فى كميته تؤدى إلى الشك الخاطف (Flash Set) ولذلك فإن إضافة كلوريد الكالسيوم تفيد عند إجراء الأعمال الاصلاحية للخرسانة (Repair Work)

جدول رقم (٤ — ١) تأثير إضافة كلوريد الكالسيوم على زمن الشك

كلوريد الكالسيوم كنسبة مئوية من وزن الاسمنت	١٫٠٪	٣٫٠٪	٥٫٠٪	١٠٫٠٪
زمن الشك بالدقيقة	٢٥	٢٥	٤٥	٨٥

ويوضح الشكل رقم (٤ — ٤) تأثير زياده كلوريد الكالسيوم على مقاومة الضغط للخرسانة .



THE ADDITION OF CALCIUM CHLORIDE INCREASES THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE FOR TWO DIFFERENT CURING CONDITIONS
TYPE II CEMENT, W/C 0.53, CEMENT CONTENT 486 lb per cu yd, AIR CONTENT 4% percent, SAND 38 percent

إضافة كلوريد الكالسيوم يزيد مقاومة الخرسانة للانضغاط وذلك لحالتين مختلفتين للمعالجة مع نوع الاسمنت II ونسبة ماء/أسمنت = ٠,٥٣ ومحتوى الاسمنت = ٤٨٦ باوند/ياردة³ ومحتوى الهواء ٤,٥٪ ، والرمل ٣٨٪.

شكل رقم (٤ — ٤)
تأثير كلوريد الكالسيوم على مقاومة الضغط للخرسانة

ويلاحظ أن نسبة كلوريد الكالسيوم المستخدمة كمادة معجلة تختلف باختلاف درجة حرارة الجو المحيط بالخرسانة إذ أنه يتناسب عكسياً مع درجة الحرارة كما يظهر من الجدول رقم (٤ — ٢) .

جدول رقم (٤ — ٢) النسب المئوية المناسبة من كلوريد الكالسيوم

درجة الحرارة	٢٠° م فأقل ٧٠° ف فأقل	٢٠° م إلى ٣٣° م (٧٠ — ٩٠° ف)	٣٣° م فأكثر ٩٠° ف فأكثر
النسبة المئوية لكلوريد الكالسيوم لكل شيكاوه أسمنت	٢٪	١ ١/٣٪	١٪

وفى حالة الطقس البارد (مناطق التجمد) وكان الركام المستعمل فى الخرسانة بدون تسخين فإن نسبة كلوريد الكالسيوم المستعملة تزاد إلى ٤ ٪ بالرغم من أن الحد الأعلى

لاستعماله يجب ألا يزيد عن ٢٪ ويجب أن تمضى فترة زمنية مناسبة قبل صب الخرسانة ويجب إضافة كلوريد الكالسيوم قبل تفريغ الخرسانة من إسطوانة الخلط بمدة كافية حتى تضمن توزيعه بانتظام فى جميع أنحاء الخلطة. ويضاف كلوريد الكالسيوم على هيئة محلول مذاب فى ماء الخلط . ويلاحظ أن معدل زيادة مقاومة الخرسانة التى يضاف لها كلوريد الكالسيوم كمادة معجلة التصلد ــ سريع فى الثلاثة أيام الأولى ولكن يقل معدل الزيادة فى الأيام التالية ويختلف تأثير المواد المعجلة الشك وتصلد الخرسانة بحسب نوع الأسمنت المستخدم .

وعند استعمال المواد المعجلة الشك فى الخرسانة التى تصب فى الأجواء الحارة فإنه يجب تغطية الخرسانة لتجنب احتمال حدوث تصلب للخرسانة قبل الوقت المناسب وذلك بفعل الحرارة العالية للجو بالإضافة إلى احتمال زيادة معدل الحرارة للمنبعثة أثناء إماهة الأسمنت فيزداد بذلك معدل تبخر الماء وتتصلب الخرسانة قبل تمام عملية إماهة الأسمنت فتكون الخرسانة الناتجة ضعيفة .

وهناك مواد تستخدم كمعجلات لتصلد الخرسانة ولكنها تؤثر فى الخواص الأخرى لها لذلك يجب أن يقتصر استعمالها على الحالات الخاصة فقط ، فمثلا سليكات الصوديوم تسبب شكا سريعا جداً ولكن فى نفس الوقت تكون مقاومة الضغط للخرسانة الناتجة صغيرة نسبياً ويقل تحملها مع مرور الزمن لذلك فإن سليكات الصوديوم تستخدم فقط فى حالات الطوارى. مثل وقف رشح الماء .

يتبين مما سبق أن هذه الإضافات بجانب غرض التعجيل بالشك تستخدم لغرض الحصول على مقاومة مبكرة للخرسانة وعلى خرسانة تقاوم تأثير الصقيع لزيادة معدل الحرارة المنبعثة المبكرة ولذلك فإن استخدام هذه الإضافات فى الجو الحار يجب أن يكون بحساب وحذر خشية احتمال زيادة حرارة الخرسانة التى قد تسبب التصلب غير الناضج للخلط والذى يعطى خرسانة ضعيفة .

٢ ــ إضافات لتبطىء الشك :

المبطئات هى تلك المواد التى تبطىء الزمن اللازم لشك الخرسانة أو مونة الأسمنت البورتلاندى .

وأكثر هذه الإضافات انتشاراً هى الجبس (Gypsum) وتكوينه الكيمائى هو ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)

ويطحن الجبس مع الكلنكر لكى يمنع الشك الوميضى للأسمنت (Flash Set) ويعتمد اختيار النسبة التى يضاف بها الجبس إلى الأسمنت البورتلاندى على نسبة ألومينات ثلاثى الكالسيوم التى يحتويها الكلنكر إذ أن ألومينات ثلاثى الكالسيوم تتفاعل بسرعة كبيرة مع الماء فى غياب الجبس وينتج عن ذلك الشك الوميضى وتحسب نسبة الجبس الواجب إضافتها للأسمنت على هيئة النسبة المئوية لثالث أكسيد الكبريت من وزن الأسمنت الناتج ولقد نصت المواصفات القياسية المصرية على أن تكون النهاية العظمى لنسبة ثالث أكسيد الكبريت هى ٣ ٪ من وزن الأسمنت الناتج إذا كانت نسبة ألومينات الكالسيوم لا تقل عن ٧ ٪ وتكون النهاية العظمى لنسبة ثالث أكسيد الكبريت هى ٢,٥ ٪ إذا كانت نسبة ألومينات الكالسيوم أقل من ٧ ٪ (الأسمنت منخفض الحرارة وأسمنت مياه البحار) والسبب فى ذلك هو استخدام الجبس لتبطىء تفاعل ألومينات ثلاثى الكالسيوم أما إذا زادت نسبة الجبس فإنها تنقلب من مبطىء الشك إلى مادة منشطة أى تزيد من سرعة الشك .

وجدير بالذكر أنه قد وجد أن الانهيدريت (Anhydrite) وتركيبه $CaSO_4$ أى يختلف عن الجبس فى عدم وجود جزيء ماء التبلور . له فعل عامل أى أنه لا يبطىء زمن الشك لذلك فإنه لا يستعمل بدلا من الجبس وكذلك فعند عملية طحن الأسمنت تبرد الطواحين حتى لا ترتفع حرارة الأسمنت داخلها بسبب الطحن إلى الحد الذى يبدأ فيه الجبس فى فقد جزأين من ماء التبلور (درجة الحرارة التى يبدأ عندها الجبس فى فقد ماء التبلور بالكامل هى ١٣٠°م) .

ومن الأمثلة الأخرى للمبطئات : كبريتات النحاس ، ومركبات البورون والكازين (Casien)

وتضاف المبطئات بكميات محسوبة إلى الأسمنت المستخدم فى آبار البترول ويسمى هذا النوع من الأسمنت بأسمنت بورتلاندى آبار البترول وفى هذا النوع من الأسمنت يكون زمن الشك أكبر بكثير من الأسمنت العادى لأن هذا النوع من الأسمنت يستخدم فى الأعماق البعيدة لبئر البترول إما لتغليف إسطوانة البئر أو لسد الطبقات المسامية التى تستهلك كميات هائلة من طينة التبريد بسبب نفاذيتها وعادة يستخدم هذا

النوع من الأسمنت فى أعماق أكبر من ٦٠٠٠ قدم وبذلك يمكن تفادى مشاكل الشك السريع نسبيا للاسمنت العادى والذى يعرقل عملية ضخ عجينة الأسمنت إلى الأعماق المطلوبة .

وبصفة عامة تقوم إضافات إبطاء شك الأسمنت بتقليل طفيف لمعدل نمو المقاومة وأيضاً بتقليل قيمة المقاومة القصوى للاحمال بما يوازى ٥٠ ٪ ولذلك لا تستعمل هذه الاضافات إلا فى بعض الظروف الخاصة مثل الآتى :

١ ــ عمل الخرسانة فى الأجواء الحارة حيث يكون الشك الابتدائى للاسمنت سريعاً جداً .

٢ ــ إذا كانت هناك رسالة من الأسمنت ذات زمن شك صغير جداً بدرجة مفرطة.

٣ ــ إذا كانت ظروف صب الخرسانة صعبة ويلزم جعل المونة الأسمنتية لدنة لتسهيل الصب وذلك مثل الرش بمونة الأسمنت عند تبطين الانفاق بشرط أن يكون ذلك فى المواضع التى لا تتطلب مقاومة عالية .

٤ ــ منع الشك الكاذب الخرسانة نتيجة الحرارة العالية مثل تبطين آبار البترول حيث تصل درجة الحرارة إلى حوالى ٢٠٤,٥° مئوية (٤٠٠° ف) والشك الكاذب يعنى تجمد السطح الخارجى للخرسانة بينما يكون داخلها بحالة غير تامة التجمد مما يضعف الخرسانة .

٥ ــ الحصول على خرسانة ذات ركام بارز ظاهر بسطحها وذلك للأغراض المعمارية ويكون ذلك بوضع طبقة من هذه الاضافات على الأسطح الداخلية للفرم ويتسبب ذلك فى تبطىء زمن الشك للاسطح الخرسانية المقابلة للفرم حيث يسهل ــ بعد تصلد الخرسانة وفك الفرم ــ إزالة المونة الأسمنتية فقط من الأسطح فيظهر الركام بارزاً متماسكا مع باقى جسم الخرسانة .

وتتضمن المواد التى تستخدم كاضافات لإبطاء زمن الشك أملاح الكالسيوم مثل كبريتات إوأسيتات ونترات وبروميدات الكالسيوم وليجنو كبريتات الكالسيوم والمواد الكربوهيدراتية وأملاح كبريتات الزنك والألومنيوم والنحاس والحديد ومواد أخرى عديدة مثل منتجات السليلوز والنشا والسكر والعسل . . الخ .

وتستخدم المواد المبطئة الشك بكميات تتراوح بين ٠,٠٥ إلى ٠,٥ ٪ من وزن الأسمنت .

ويلاحظ أن كبريتات الكالسيوم تستخدم فى صناعة الأسمنت لضبط زمن الشك وتقليله بنسبة ٣ ٪ فإذا زادت نسبة كبريتات الكالسيوم بالأسمنت زياده كبيرة فإنها تسبب عدم ثبات حجم الأسمنت الذى يؤدى بالتبعية إلى تواجد الشروخ وتفتت المونة الأسمنتية .

ويراعى أن السكر لا يستخدم عادة كمادة لإبطاء شك الخرسانة حيث أن الكميات القليلة جداً منه وإن كانت تبطىء زمن الشك بإبطاء الاتحاد الكيميائى للأسمنت مع الماء إلا أنها تقلل المقاومة المبكرة للخرسانة فمثلا إضافة سكر بمقدار ٠,٥٠ ٪ من وزن الأسمنت يؤدى إلى انعدام المقاومة تماماً فى اليوم الأول لصب الخرسانة ونقص المقاومة إلى حوالى ٥٠ ٪ من قيمتها وذلك بعد ٣ أيام من الصب ومع ازدياد الزمن وبعد مدة زمن الصب قد يحدث زيادة فى المقاومة كما أنه لوحظ أن الكميات الكبيرة من السكر قد تمنع تماماً حدوث عملية الشك .

(هـ) إضافات سدودية الماء :

هذه الإضافات لا تمنع تماما إنفاذية الماء بالخرسانة ويلزم لجعل الخرسانة غير منفذة تماما للماء العناية بتصميم الخلطة الخرسانية أى تقليل كمية الماء ما أمكن وزيادة الأسمنت مع استخدام ركام متدرج غير مسامى وأيضاً العناية بالصناعة وخاصة بالنسبة لعمليتى الدمك والمعالجة .

وتوجد هذه الإضافات تحت أسماء تجارية كثيرة إلا أنها تنحصر فى مجموعها تحت قسمين كبيرين تبعاً لأدائية هذه المواد لوظيفتها .

١ — الإضافات الطاردة للماء : (Water Repellent Admixtures)

والغرض من هذه الإضافات هو منع الخرسانة من امتصاص ماء المطر أو المياه السطحية الملامسة وتقل كفاءة هذه الإضافات إذا كانت الخرسانة معرضة لمياه تحت تأثير ضغط وتتضمن الصابون ومركبات الأحماض الدسمة مثل أوليات وسيترات الصوديوم والبوتاسيوم . وهى التى تذوب فى الماء وتصير ضارة له عندما تتفاعل مع الجير الحى الموجود بالأسمنت وكذلك الزيوت المعدنية والنباتية والحيوانية والاصماغ وزيوت البترول والشمع والبيومين ومخلفات قطران الفحم وتضاف هذه

الإضافات المخلطة بنسبة تتراوح من ١,٠٪ إلى ٢,٠٪ من وزن الأسمنت .

وتستخدم هذه المواد بكثرة فى الإنتاج الروسى من الأسمنت البورتلاندى أما فى الولايات المتحدة الأمريكية فإن استخدامه يكثر فى إنتاج أسمنت المونة عنه فى الأسمنت المستخدم فى الخرسانة .

ومن أمثلة هذه العوامل :

التالو (Tallow) . والاستيرات المعدنية (Metallic Stearates) .

٢ ــ المواد المالئة للفراغات (pores Filler Matesials) .

وتتضمن المواد الفعالة كيميائياً والتى تكون بتفاعلها مع الأسمنت جيلاتيناً (gel) يملأ الفرغات داخل الخرسانة وأيضاً تشمل المواد الخاملة (Inert) التى تسد الفراغات أو تقلل من حجمها . والمواد الفعالة مثل سليكات البوتاسيوم وسليكات الصوديوم (الماء الزجاجى ــ Waterglass) وكبريتات الفشادر وكبريتات الزنك وكلوريد الألومنيوم وكلوريد الكالسيوم أما المواد الخاملة فهى مثل المواد المسحوقة ناعماً السابق ذكرها كإضافات لتحسين قابلية التشغيل .

ويلاحظ أن أى إضافات تقوم بتحسين عجينة الأسمنت وتوزيعها تماماً خلال حبيبات الركام يمكن اعتبارها إضافات تمنع إنفاذ الماء بالخرسانة .

(و) إضافات تقليل التغير الحجمى :

يتغير حجم الخرسانة لسببين رئيسيين:

١ ــ إزدياد أو انخفاض الرطوبة .

٢ ــ التغير فى درجة الحرارة .

والتغير فى الحجم نتيجة التغير فى الرطوبة ينتج من أن التفاعل الكيميائى بين الأسمنت والماء يجعل الحبيبات تنتفخ فى حالة وجود الرطوبة فإذا تعرض جزء منها للجفاف يبدأ الانكماش وبذلك تتواجد قوى ضغط وشد فى الخرسانة فإذا زادت عن مقاومة الخرسانة أحدثت فيها شروخاً لذلك يجب عدم تعريض الخرسانة للجفاف بعد صبها حتى تصل إلى المقاومة المناسبة وتختلف درجة الانكماش والتمدد فى الخرسانة حسب

أنواع المهمات المستعملة فيها وكيفية صيانتها ونوع الاسمنت المستخدم . ولمنع حدوث الشروخ يراعى بقدر الامكان ما يلى :

١ ــ عدم زيادة نسبة الاسمنت .

٢ ــ تقليل ماء الخلط .

٣ ــ عدم استعمال رمل ناعم جداً .

٤ ــ استعمال الرمل والزلط ذى التدرج الجيد .

وينتج النوع الثانى من التغيرات الحجمية نتيجة تمدد الخرسانة بالحرارة فالمتر الطولى منها يتمدد بمقدار ٠,٠١ مم عند ارتفاع درجة حرارته ١°م ومعامل تمدد الحديد يبلغ ٠,٠١١٦ مم لكل متر طولى أى متساويان تقريباً وبذلك يتعادل تمددهما . لذلك فإن تأثير الحرارة على الخرسانة المسلحة أقل بكثير من غير المسلحة ، وفى المنشآت تضطر لعمل فواصل لتمدد الخرسانة ولكن هناك مواضع كثيرة لا يمكن أن يعمل لها ما يمنع فعل الانكماش وما ينتج عنه من الضرر وقد جربت إضافة مادة يطلق عليها الاسم التجارى «الاميبكو» وأثبتت هذه المادة أنها تمنع حدوث الشروخ والانكماش فى الخرسانة والمونة وهى عبارة عن حبيبات معدنية ذات تركيب كيميائى يسمح بأكسدتها فى موضع الفراغات الهوائية وعند تأكسدها تنتفخ بما يعادل انكماش الخرسانة ويؤدى ذلك إلى زيادة متانة الخرسانة ومرونتها وتقليل قابليتها للامتصاص .

ومن مزايا إضافات تقليل التغير الحجمى مثل « الاميبكو » ما يأتى :

١ ــ تمنع الانكماش تقريبا منعاً باتاً (٠,٠٥٪ بعد ٢٨ يوماً).

٢ ــ تجعل الخرسانة بطيئة الشك بحيث يمكن صبها بعد ١٢ ساعة من خلطها .

٣ ــ تجعل الخرسانة عازلة للسوائل لأن هذه الاضافات تسد الفراغات .

٤ ــ تزيد وزن المتر المكعب من الخرسانة بنسبة ١٣ ٪ وتستخدم فى الاماكن المعرضة للانكماش مثل لحام تقابل الأرضيات الخرسانية ولحام المواسير وتثبيت المسامير والصواميل ولحام المبانى المعرضة لتغيرات درجة الحرارة الشديدة أو مياه البحر .

(ز) إضافات معالجة الخرسانة :

إن الغرض من عملية المعالجة للخرسانة هو المحافظة على نسبة من ماء الخلط الذى يضاف للخرسانة عند خلطها مدة من الزمن تسمى فترة المعالجة حتى تستمر عملية إماهة الاسمنت

وكذا المحافظة على درجة حرارة الخرسانة عند درجة معينة أعلى من درجة التجمد .

وهناك الكثير من طرق المعالجة سيأتى ذكرها عند دراسة أثر المعالجة على خواص الخرسانة فيما بعد ولكن سنشير هنا إلى مجموعة المواد التى قد تضاف إلى الخرسانة لتساعد على إتمام عملية المعالجة .

فمثلا قد تتم المعالجة بتغطية سطح الخرسانة بطبقـــة من الرمل أو الطين المبلل أو بأنواع الورق غير المنفذة للماء أو طلاء سطح الخرسانة المعرض للجو بأنواع من الطلاء تجف مباشرة وتكون طبقة غير منفذة للماء وغالبا ما يكون هذا الطلاء من مشتقات البلاستيك أو تغطية الخرسانة بالحصير أو الخيش وغالباً ما تؤدى هذه الطرق إلى تغير لون سطح الخرسانة .

وإذا كان من الصعب الحصول على الماء اللازم لعملية معالجة الخرسانة (فى الأماكن الحارة) فيمكن معالجة الخرسانة إما بتغطية السطوح المعرضة كما سبق أو بإضافة مواد معينة للخرسانة أثناء الخلط . ويعتبر كلوريد الكالسيوم من أحسن المواد التى تضاف إلى الخرسانة بغرض المعالجة . أما الطرق الحديثة لحفظ الماء من التبخر فتكون بتغطية السطح بطبقة من البرافين أو البيتومين أو الورق غير المنفذ للماء .

ويلاحظ أن الغرض من أى مادة تضاف تساعد فى عملية المعالجة هو الاحتفاظ بكمية من الماء الحر بالعجينة الأسمنتية لاستمرار عملية الاتحاد الكيميائى للأسمنت والماء وبالتالى يكون ذلك مساعداً لعملية المعالجة .

(ح) إضافات مضادة البكتريا :

بإضافة هذه المواد إلى أى نوع من أنواع الأسمنت فإن الأسمنت الناتج يسمى الأسمنت المضاد البكتريا والإضافات المضادة البكتريا يجب أن تكون ذات تركيز وقوة معينة يسمحان باقتدار تأثيرها لمدة طويلة فى منع النشاط الحيوى للكائنات الدقيقة كالبكتريا والعفن (الكائنات الميكروبيولوجية) .

ويستخدم هذا النوع من الأسمنت فى عمل خرسانة الأرضيات أوخرسانة الحوائط أينما وجدت البكتريا أو هذه الكائنات الدقيقة لتأثيرها الضار على الخرسانة العادية حيث أنها تسبب تآكلها وتفتتها .

ومن أمثلة المنشآت التى يستخدم فيها مثل هذا النوع من الخرسانة أحواض السباحة والحمامات أو أرضيات مصانع الألبان ومصانع حفظ المأكولات وبالإضافة إلى أن هذا الأسمنت يحفظ الأرضيات من فعل البكتريا فإنه أيضاً يحفظ الأرضية من التآكل بفعل حامض اللكتيك (Lactic Acid) والأحماض الغذائية .

(ط) إضافات ملونة للخرسانة :

تتطلب بعض الأعمال المعمارية أن تكون الخرسانة ذات سطح ملون . لذلك يلزم إضافة مواد ملونة للخلطة التى تصب منها طبقة رقيقة على سطح الخرسانة العادية .

وهذه الإضافات عبارة عن أكاسيد معدنية ومواد أخرى مشابهة يشترط فيها أن تكون خاملة كيميائياً . وألوانها لا تبهت عند التعرض للشمس ومن هذه الاضافات التى قد تضاف أثناء الخلط أو للأسمنت أثناء صناعته : ثانى أكسيد المنجنيز للالوان السوداء والرمادى وأكسيد وأيدروكسيد الكروم للون الأخضر ... إلخ وتضاف بنسبة حوالى ١٠ ٪ من وزن الأسمنت وتسبب هذه الاضافات ضعفا فى مقاومة الخرسانة .

رابعا : بعض أنواع الاضافات الشائعة الاستعمال فى الخرسانة

(أ) كلوريد الكالسيوم (Calcium Chloride)

استخدم كلوريد الكالسيوم منذ أكثر من ٤٠ عاماً كخليط فى خرسانة الأسمنت البورتلاند العادى للحصول على مقاومة مبكرة وعالية وللتقليل من التكاليف وقد وصلت صناعة كلوريد الكالسيوم إلى درجة عالية وساهمت فى تطور المنشآت الخرسانية .

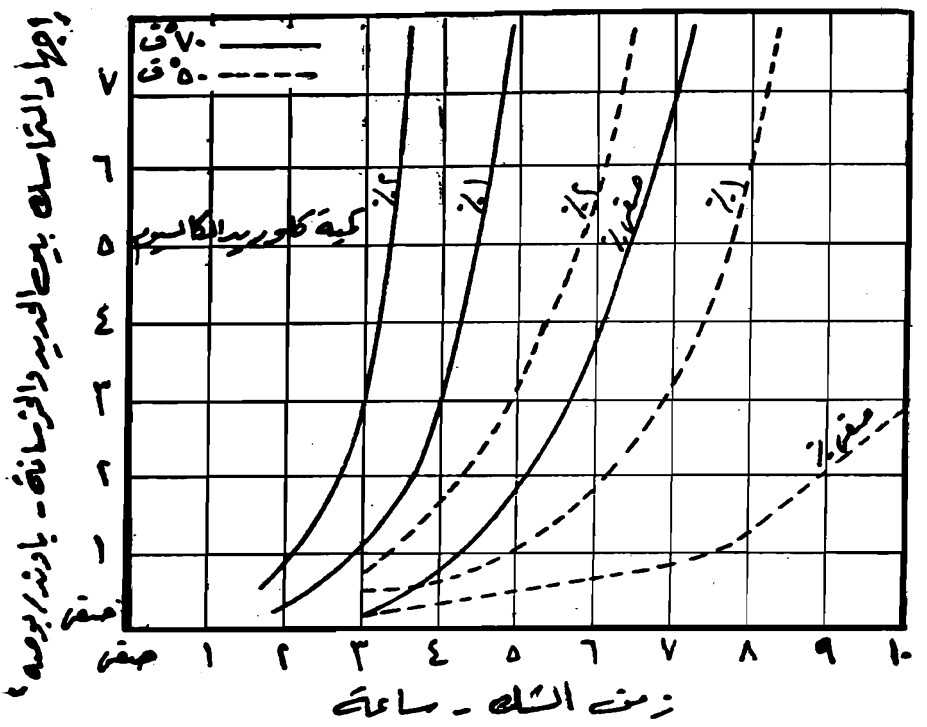
أثر كلوريد الكالسيوم على الخرسانة :

لكلوريد الكالسيوم تأثيرات مفيدة كثيرة على الخرسانة الطازجة والمتصلدة وفيما يلى توضيح لأثر كلوريد الكالسيوم على الخرسانة :

١ ــ الشك الابتدائى والنهائى :

عند إضافة ٢ ٪ من كلوريد الكالسيوم بالوزن منسوباً إلى وزن الأسمنت فى الخلطة فإنه يلاحظ انخفاض فى زمن الشك الابتدائى، فمثلا فى الأجواء العادية يقل زمن الشك من ساعات إلى ساعة واحدة كما أن زمن الشك النهائى يقل أيضا بنفس النسبة

من ٦ ساعات إلى ساعتين ، أما فى درجات الحرارة المنخفضة فإن الشك الابتدائى يتأثر أيضاً ويكون تأثير كلوريد الكالسيوم أكثر وضوحا والشكل رقم(٤ — ٥) يوضح أثر كلوريد الكالسيوم على الشك الابتدائى والنهائى ومقاومة التماسك .



شكل رقم (٤ — ٥)
العلاقة بين زمن الشك ومقاومة التماسك

٢ — المقاومة المبكرة :

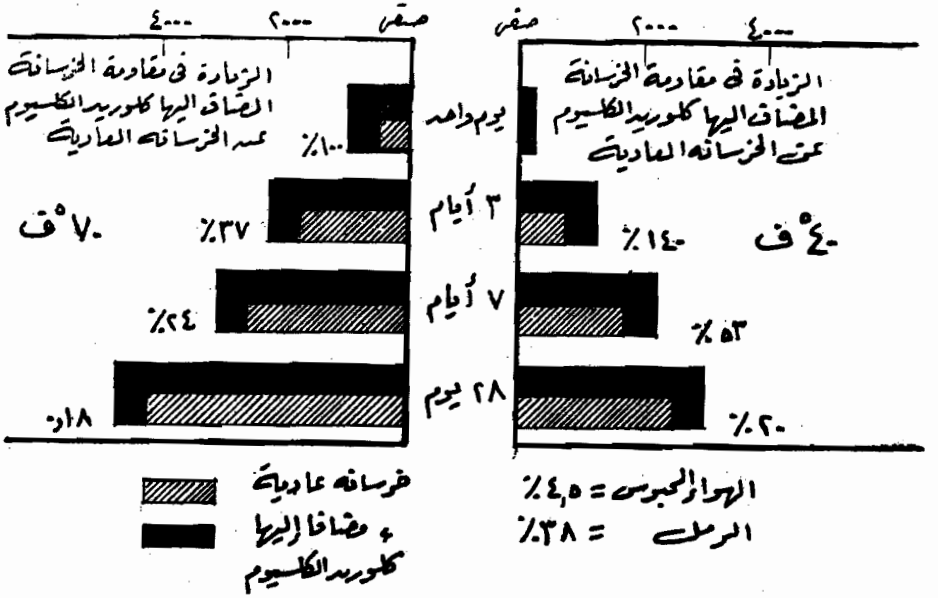
يعطى كلوريد الكالسيوم فى الخرسانة مقاومة مبكرة بدون تقليل للمقاومة النهائية وهذه ميزة هامة لأسباب عديدة منها :

— تقليل زمن فك الشدات إلى النصف أو أقل .

— تقليل العدد الكلى المستعمل للشدات .

— وسرعة فك الشدات تؤدى إلى استعمال المبنى مبكراً .

ويبين الشكل رقم (٤—٦) مقدار زيادة مقاومة الخرسانة عند إضافة كلوريد الكالسيوم فى حالتى درجتى الحرارة ٣٧,٧°م (٧٠°ف) ، ٢١,١°م (٤٠°ف)



شكل رقم (٤—٦)
الزيادة فى مقاومة الخرسانة باضافة كلوريد الكالسيوم

٣ ــ الحماية من تأثيرات الجو البارد والرطب :

تتأثر نسبة زيادة المقاومة كثيراً بدرجة الحرارة وتكون المقاومة المطلوبة أقصاها فى درجة حرارة ٣٧,٧°م (٧٠°ف) ويكون هناك تغير واضح فى المقاومة نتيجة انخفاض درجة الحرارة عن ٣٧,٧°م.

وتقل درجة الحرارة فى بعض المناطق عن ٣٧,٧°م وهناك تظهر فوائد كلوريد الكالسيوم حيث يجعل الخرسانة وكأنها فى طقس معتدل وتعزى فائدة كلوريد الكالسيوم هذه إلى زيادة الحرارة المتولدة من التفاعل وثباتها .

ومع أن استعمال كلوريد الكالسيوم فى درجات الحرارة العادية يؤدى إلى الحصول على المقاومة المطلوبة فى نصف الوقت إلا أنه لوحظ أن النسبة المئوية للزيادة فى المقاومة تكون أكبر فى درجات الحرارة المنخفضة ، فمثلا فى درجة ٤٠°ف تحصل الخرسانة المعالجة بكلوريد الكالسيوم على مقاومة تعادل ماتكتسبه الخرسانة العادية فى ثلاثة أيام وذلك فى فترة لاتتجاوز اليوم الواحد . بينما فى يومين يكون لها مقاومة الخرسانة العادية بعد خمسة أيام .

ويلاحظ أن كلوريد الكالسيوم لا يعتبر مضادا للتجمد أو مانعا له لذلك يجب اتباع إجراءات الوقاية فى الأجواء الباردة إلا أن هذه الإجراءات لا تستمر إلا لفترة من ٣ إلى ٧ أيام . ويستخدم كلوريد الكالسيوم فى الأحوال العادية بنسبة ٢ ٪ ولا يوصى باستخدامه بنسبة مئوية أكبر من ذلك .

٤ ــ الفوائد الإضافية لكلوريد الكالسيوم :

المقاومة النهائية :

تزيد المقاومة النهائية بالإضافة إلى زيادة المقاومة المبكرة نتيجة استعمال كلوريد الكالسيوم ولقد أظهرت الاختبارات زيادة مقدارها ٩ ٪ فى ثلاث سنوات .

المعالجة الكاملة :

١ ــ يقلل فقدان الرطوبة أثناء خلطه بالماء .

٢ ــ يساعد على إطلاق الحرارة مبكراً عند خلطه مع الماء .

٣ ــ يساعد فى تسهيل عملية الخلط مع الماء .

قابلية التشغيل والكثافة :

يمكن الحصول على زيادة فى قابلية التشغيل أو زيادة فى الكثافة وذلك باستعمال كلوريد الكالسيوم فى الخليط فيمكن زيادة قابلية التشغيل مع الاحتفاظ بنسبة الماء إلى الأسمنت (م/س) كما هى وعند الرغبة فى الحصول على خرسانة كثيفة يمكن الاقلال من الماء واستخدام كلوريد الكالسيوم لرفع قابلية التشغيل .

مقاومة التآكل :

تزداد مقاومة سطح الخرسانة للتآكل باستعمال كلوريد الكالسيوم وتكون المقاومة الناتجة مماثلة لتلك التى نحصل عليها من المعالجة بواسطة الخيش المبلل لمدة ٣ أيام.

استخدامات كلوريد الكالسيوم فى الخرسانة

١ ــ خرسانة الهواء المحبوس :

تستعمل خرسانة الهواء المحبوس بدرجة كبيرة فى الأعمال الانشائية إذ أنها تتميز بسهولة التشغيل والتحمل مع الزمن ويلاحظ أن الهواء المحبوس يقلل من مقاومة الخرسانة خاصة فى المراحل الأولى حتى مع نقص كمية ماء الخلط ولكن يمكن عن

طريق استعمال كلوريد الكالسيوم تعويض كل تأثير محتمل ولوأن سرعة تأثيره تكون أكبر فى حالة الأسمنت العادى عنه فى حالة الأسمنت ذى الهواء المحبوس .

ومن أهم فوائد كلوريد الكالسيوم فى هذه الحالة أنه يزيد من المقاومة فى كل مرحلة من المراحل بدون نقص فى مقاومة التحمل أو مقاومة التجمد أوالذوبان نتيجة تخلل الهواء المحبوس فى الخرسانة

٢ ــ الخرسانة جاهزة الخلط :

يستعمل كلوريد الكالسيوم بتوسع فى صناعة الخرسانة جاهزة الخلط وفيما يلى بعض المعلومات الهامة بشأن استخدام كلوريد الكالسيوم فى الخرسانة جاهزة الخلط :

يمكن استعمال المعجلات بفائدة كبيرة فى الجو البارد إما وحدها أو بالاضافة إلى مكونات الخرسانة الأساسية بعد تسخينها وقد تكون كافية بمفردها فى كثير من حالات انخفاض الحرارة (فوق درجة التجمد أو تحتها بدرجات قليلة) وكما يدل اسمها فإنها تزيد من المعدل الذى تكتسب فيه الخرسانة مقاومتها إلا أنه يجب العناية فى استخدامها خاصة فى الخرسانة جاهزة الخلط .

ويجب العناية عند إضافة كلوريد الكالسيوم إلى الخرسانة ومن الأفضل إضافته كمحلول ولكن المحلول لايضاف إلى الأسمنت الجاف مباشرة إذ أنه يمتص الرطوبة ويصبح بذلك رطباً لدرجة تكفى للتفاعل مع الأسمنت .

ويجب أن يضاف المحلول القياسى إلى ماء الخلط ويمزج معه وفى بعض الظروف قد يكون من المناسب عجن المحلول مع مجموعة من المواد وفى مثل هذه الحالة يجب إضافة ماء الخلط قبل المزج مع الأسمنت .

وهناك كثير من المتغيرات التى تؤثر فى معدل تصلد الخرسانة مثل درجة الحرارة ومحتوى الأسمنت ونسبة الماء إلى الأسمنت إلا أنه يمكن وضع قاعدة عامة بأن الخرسانة التى تحتوى على كلوريد الكالسيوم لمدى درجات الحرارة فوق ٧٠° ف لا تنتج أى مشاكل عند صبها خلال ساعة من ابتداء عملية الخلط .

كيفية اضافة كلوريد الكالسيوم

١ ــ شكل المحلول :

عند تحضير المحلول العيارى لكلوريد الكالسيوم بغض النظر عن كونه مركزاً

أو مخففاً يجب أن يحتوى كل جالون على نفس الكمية ويمكن تعيين كثافة المحلول ومنها درجة تركيز المحلول عن طريق هيدرومتر .

٢ ــ عمل محلول عيارى من كلوريد الكالسيوم :

(ا) يملأ وعاء ٥٠ جالون إلى $\frac{3}{4}$ حجمه بالماء .

(ب) يضاف ببطء شيكارتان من كلوريد الكالسيوم مع استمرار التحريك . (وزن الشيكارة الواحدة ١٠٠ باوند من كلوريد الكالسيوم المركز ٧٧٪ على الأقل أو وزن الواحدة ٨٠ باوند من كلوريد الكالسيوم المركز ٩٤ ٪) .

(حـ) يحرك المحلول حتى الذوبان الكامل .

(ء) يضاف ماء لمستوى الخمسين جالون ثم يحرك المحلول ثانيا .

٣ ــ المواصفات المطلوبة لكلوريد الكالسيوم :

١ ٪ كلوريد كالسيوم تعنى إضافة جالون من المحلول العيارى إلى المخلوط لكل شيكارة أسمنت .

٢ ٪ كلوريد كالسيوم تعنى إضافة ٢ جالون من المحلول العيارى إلى المخلوط لكل شيكارة أسمنت .

ثم يضاف المحلول إلى ماء الخلط ويجب إقلال ماء الخلط بنفس كمية المحلول المستعمل.

٤ ــ إرشادات خاصة بشأن استخدام كلوريد الكالسيوم .

(ا) يضاف كلوريد الكالسيوم إلى الماء ولكن لا يجب إضافة الماء إلى كلوريد الكالسيوم ، حيث أنه إذا صب الماء على كلوريد الكالسيوم فسوف تتكون طبقة سطحية جافة من الصعب إذابتها .

(ب) لا يجب إضافة كلوريد الكالسيوم أكثر من اللازم حيث يترتب عنه عدم ذوبانه وفى هذه الحالة يحتمل تصلب المحلول عند درجات الحرارة المرتفعة .

(حـ) يذوب كلوريد الكالسيوم بسهولة فى الماء الساخن أو البارد ويلاحظ أن إضافة كلوريد الكالسيوم تولد حرارة لذلك يشترط قبل الاستعمال ترك المحلول إلى أن يبرد تماماً .

(ء) عند تحضير المحلول العيارى يجب استعمال محرك ميكانيكى ويفضل استعمال مصدر من تيار الهواء .

٥ ــ استخدام كلوريد الكالسيوم فى الحالة الجافة :

من الممكن إضافة كلوريد الكالسيوم إلى الخليط وهو فى حالته الجافة وعند قياسة بالوزن يجب أن يضاف بكميات لا تزيد عن ٢٪ بالوزن من النوع العادى أو ١,٦٪ بالوزن من النوع المركز . وعند إضافة كلوريد الكالسيوم فى الحالة الجافة يجب إضافته قبل تفريغ الخرسانة مباشرة كما يجب السماح على الأقل بخلط المخلوط لمدة عشرين دوراً للتأكد من الخلط التام مع ملاحظة عدم السماح لكلوريد الكالسيوم بالتلامس مع الأسمنت الجاف .

ويلاحظ فى كلتا الحالتين سواء فى استخدام كلوريد الكالسيوم كمحلول أو جاف وجوب استخدام مقسم آلى وأجهزة تغذية لضمان التجانس التام وتختلف أنواع هذه الأجهزة من كهربائية وميكانيكية أو كبيرة وصغيرة إلا أنها أفضل بكثير من مناولة وخلط كلوريد الكالسيوم باليد .

(ب) المواد البوزولانية (Pozzolanic Materials)

المواد البوزولانية هى تلك الخامات السيليسية والألومينية التى مع كونها ليست ذات قدرة لاصقة أو أسمنتية إلا أنها تتفاعل مع الجير فى وجود الماء لتكون مواد ذات خواص أسمنتية .

وقد تتواجد فى الطبيعة كخامات معدنية أو تحضر صناعيا مثل الطوب المطحون ورماد الفحم وبعض أنواع خبث الحديد .

وقد اكتشف القدماء أن خلط أنواع معينة من المواد أو الأتربة البركانية التى سموها بوزولانا مع الحجر الجيرى المحروق يحسن كثيراً من خواص المونة الجيرية المستخدمة وعندما ظهرت صناعة الأسمنت الطبيعى والأسمنت البورتلاندى اختفى استعمال هذه المواد فى المونة ولكن فى السنوات الأخيرة ظهر مرة أخرى استخدام الأسمنتات المخلوطة من الأسمنت البورتلاندى مع المواد البوزولانية وقد وجد أنها أسمنتات جيدة .

وعند خلط الأنواع الجيدة من المواد البوزولانية نجد أنها تحسن الخواص التالية للأسمنت المخلوط .

١ ــ قابلية التشغيل .
٢ ــ تقليل معدل انبعاث حرارة الإماهة حيث يقل كذلك الانكماش الحرارى .
٣ ــ مقاومة منفذية الماء .
٤ ــ مقاومة فعل الكبريتات .
٥ ــ مقاومة الضغط .
٦ ــ مقاومة التشقق .
٧ ــ مقاومة تأثير الركام القلوى .
٨ ــ مقاومة القابلية للذوبان والتآكل .

هذا فضلا عن النقص الكبير فى التكاليف المتوقعة .

٥ ــ أنواع المواد البوزولانية :

(١) الخامات الطبيعية :

ــ الطفلة والطين الصفحى : Caly & Shale.

- النوع المنتيموريلونيتى Montimorillonite type.
- النوع الكاولينى Kaolinite type.
- النوع الاليتى Illite type.

٢ ــ المواد الأوبالية Opaline Materials

- النوع الأوبالى Opaline type.
- النوع الدياتومى Diatomaceous type.
- النوع الصوانى Cherts:

٣ ــ الرواسب البركانية Volcanic tuffs & Pumicites

- النوع الريوليتى Rhyolitic type.
- النوع الفونوليتى Phonolitic type.
- النوع الأنديزليتى Andesite type.
- النوع البازلتى Basaltic type.

والطفلة وكذلك الطين الصفحى يحتاجان إلى عملية التكليس (Calcination) عند درجة حرارة حوالى ٥٠٠م — ٨٠٠م ليمكن تحويلهما إلى مواد نشطة ولكن معظم المواد الأخرى لاتحتاج إلى عملية التكليس لتحسين تفاعلها مع الماء ومع ذلك فإن معظم المواد البوزولانية تحتاج الطحن إلى درجة عالية من النعومة .

(ب) الخامات الصناعية :

١ — رماد الفحم : (Fly Ash)

يستخرج رماد الفحم من أفران المحطات الحرارية التى تستخدم كوقود وتتكون فى غالبيتها من حبيبات مدورة من الزجاج الصناعى لها بعض خواص الاتحاد بالماء .

٢ — الطين الصفحى الزيتى المحروق :

وهذا النوع من الطين الصفحى يكون أصلا محتوياً على كمية من زيت البترول ويحرق كوقود والرماد الناتج هو الذى يمكن استخدامه .

٣ — الطوب المحروق :

وقد استخدم فى بناء سد سنار على النيل الأزرق عام ١٩٢٥ بنسبة ٣٠ ٪ .

٤ — الطوب الحرارى المطحون .

٥ — خبث الأفران العالية :

— خبث الأفران العالية المبرد فجائيا بالماء

— خبث الأفران العالية المبرد بالهواء .

وترجع قدرة معظم المواد البوزولانية الطبيعية على التفاعل مع الماء إلى المركبات التالية سواء مفردة أو موجودة معاً :

١ — الزجاج البركانى	Valconic glass
٢ — الأوبال	Opal
٣ — معادن الطفلة	Clay Minerals
٤ — الزيوليتات	Zeolites
٥ — أكاسيد الألومنيوم المائية	Hydrated Aluminium Oxides

والحبيبات ذات النعومة العالية من هذه المواد المضافة للأسمنت تتفاعل مع أيدروكسيد الكالسيوم الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء ويلاحظ ان ايدروكسيد الكالسيوم وحده ليست له خواص هيدروليكية إذ أنه سهل الذوبان فى الماء الجارى ولكن عند تفاعله مع المركبات السيليسية الموجودة فى هذه المواد ينتج مواد أسمنتية على درجة عالية من الثبات .

ومن المعرف أن السليكات غير المتبلورة (Amorpheus) تتفاعل بدرجة أكبر مع الماء من السليكات المتبلورة (Crystalline)

ويبين الجدول رقم (٤ — ٣) نتائج تأثير إضافة المواد البوزولانية للأسمنت

جدول رقم (٤ — ٣) بعض الاختبارات على الاضافات البوزولانية ونتائجها

رقم	الخاصية	تأثير المواد البوزولانية	النتيجة
١	مقاومة الشد	أعلى بعد مرور وقت طويل	تحسين المقاومة للتشقق
٢	مقاومة الضغط	أقل بعد مرور وقت قصير وتقريباً متساوية بعد مرور وقت طويل	تعطى مقاومة مناسبة لجميع أغراض الاستخدام العادى
٣	حرارة الاماهه	أقل	يقل الانكماش الحرارى والتشقق عند انخفاض الحرارة
٤	لدونة العجينه	أحسن	أقل تشققاً
٥	مقاومة الكبريتات	تزداد	هامة للاستخدامات البحرية والتربة القلوية
٦	قابليه التشغيل	تتحسن	هامة عند الخلط بالركام والماء

وفيما يلى بعض الأمثله لاستخدامات الأسمنت البورتلاندى المخلوط بالمواد البوزولانية فى الانشاءات الخرسانية والمقامة حالياً فى الولايات المتحدة الأمريكية :

١ — سد الصخرة السهمية وسد الفيل :

(Arrow Rock & Elephant Butte Dams)

وهذان السدان أقيما فيما بين ١٩١٠ ، ١٩٢٠ فى ولاية نيومكسيكو باستخدام

الأسمنت الرملى الناتج من طحن الكلنكر بنسبة ٥٥ ٪ والجرانيت بنسبة ٤٥ ٪ بالوزن وذلك بالنسبة للخزان الأول أما الأسمنت المستخدم فى الخزان الثانى فيتكون من ٢٥ ٪ بالوزن كلنكر ، ٤٨ ٪ حجر رملى مطحونين معاً ويعتبر هذان الخزانان غير منفذين للماء وفى حالة ممتازة حتى الوقت الحاضر .

٢ — كوبرى خليج سان فرانسيسكو : (San Fransisco Bay Bridge) واستخدم فيه الأسمنت الناتج من طحن الكلنكر مع طين صفحى مكلس .

٣ — سد بونفيل : (Bonneville Dam)

يقع هذا السد فى ولاية أوريجون (Oregon) ، وقد استخدم فيه الأسمنت المخلوط الناتج من طحن ٧٥ ٪ بالوزن من كلنكر أسمنت النوع الثانى حسب المواصفات القياسية الأمريكية ، ٢٥ ٪ من الغرين (Silt) المكلس وقد أمكن الحصول على الفوائد التالية من استخدام هذا الأسمنت المخلوط :

(ا) زيادة المقاومة للتشقق الطولى .

(ب) انخفاض التكاليف .

(حـ) انخفاض منفذية الماء .

(د) انخفاض حرارة الإماهة .

(هـ) ارتفاع مقاومة الشد .

٤ — سد فريانت (بولاية كاليفورنيا) : (Friant Dam)

وقد استخدم فيها الأسمنت المنتج حسب النوع الرابع من المواصفات القياسية الأمريكية مضافاً إليه ١٦ ٪ من الحجر الخفاف الناعم طبيعياً .

٥ — سد الحصان الجائع (بولاية مونتانا) : (Hungry Horse Dam)

وفيه استخدم اسمنت ناتج من خلط ٢٥ ٪ من رماد الفحم منخفض الكربون مع ٧٥ ٪ بالوزن من الأسمنت الأمريكى من النوع الثانى .

(جـ) خبث الأفران العالية

إذا طحن كلنكر الأسمنت العادى مع نسبة من خبث الأفران العالية فإن الأسمنت الناتج يسمى بالأسمنت خبث الأفران العالية وهو ينتج بكميات كبيرة فى الولايات

المتحدة وبريطانيا وفرنسا وألمانيا وبلجيكا كما ينتج أيضاً فى الجمهورية العربية المتحدة وهذا النوع من الأسمنت يتقبله المستهلك كبديل للأسمنت البورتلاندى ويستخدمه فى نفس أغراض استخدام الأسمنت البورتلاندى العادى وقد حددت المواصفات القياسية الأمريكية والبريطانية والألمانية والمصرية وغيرها نسب الخلط والخواص الكيميائية والطبيعية لهذا النوع من الأسمنت .

ويتكون الأسمنت البورتلاندى خبث الأفران العالية من الخلطات الآتية فى الدول المختلفة :

١ — الولايات المتحدة : ٧٥ — ٢٥ ٪ كلنكر مع ٢٥ — ٦٥ خبث .
٢ — ألمانيا : ٧٠٪ كنهاية عظمى كلنكر ، ٣٠٪ كنهاية صغرى خبث .
٣ — بريطانيا : ٣٥ ٪ كنهاية صغرى كلنكر مع ٦٥ ٪ كنهاية عظمى خبث.
٤ — الجمهورية العربية المتحدة : ٦٥٪ كلنكر مع ٣٥ ٪ خبث .

والخبث المستخدم فى إنتاج هذا النوع من الأسمنت هو الخبث المحبب أو الحصوى (أى المبرد مائياً بالماء) وتعريفه هو « المادة اللامعدنية التى تتكون أساسا من سليكات والومينو سليكات الكالسيوم والتى تلوثت فى نفس الوقت مع الحديد فى الأفران العالية والتى أنتجت بالتبريد الفجائى للخبث المنصهر بالماء أو البخار » والحصول على النهاية العظمى للخواص الأسمنتية لهذه المادة يجب تبريدها فجائيا بالماء ليمكن تجنب تبلور مكوناتها .

والخبث المحبب له خواص أسمنتية ضعيفة إذا ما مزج وحده بالماء أما إذا أضيف له الجير المطفى (أيدروكسيد الكالسيوم) فإن هذه الاضافة تعمل كمنشط للخبث وبذلك تزداد قوة تفاعله مع الماء ، وهكذا فإن أيدروكسيد الكالسيوم الناتج من إماهة الأسمنت البورتلاندى له تأثير كبير على القيمة الأسمنتية التى يمكن الحصول عليها من الخبث .

بعض خواص الأسمنت البورتلاندى خبث الأفران العالية :

١ — المقاومة .

أقل من مقاومة الأسمنت البورتلاندى العادى فى الأزمنة المبكرة ولكن بمرور الزمن قد يكون معدل زيادة مقاومة الأسمنت الحديدى أكبر من معدل زياده مقاومة الأسمنت البورتلاندى العادى

٢ ــ الثبات :

نلاحظ أن هذا النوع من الأسمنت يحتوى على نسبة أقل من أيدروكسيد الكالسيوم الحر عن الأسمنت البورتلاندى العادى لذلك فإنه أكثر ثباتاً وأكثر مقاومة للتأثيرات المختلفة عند التعرض للمحاليل ذات التأثير الكيميائى عن الأسمنت العادى .

٣ ــ حرارة الإماهه :

حرارة الإماهة للأسمنت البورتلاندى خبث الأفران أقل من حراة الإماهة للأسمنت البورتلاندى العادى .

٤ ــ مقاومة درجات الحرارة العاليه :

الأسمنت البورتلاندى خبث الأفران العالية أكثر احتمالا لدرجات الحرارة العالية (فى الحدود المعقولة) عن الأسمنت البورتلاندى العادى .

(د) الحجر الجيرى والرمل (Lime Stone & Sand)

الحجرى الجيرى هو الحجر المترسب طبيعيا بالوسائل الكيميائية أو البيوكيمائية أو البيولوجية ويتكون فى غالبيته من كربونات الكالسيوم والمعدن الأساسى فيه هو الكالسيت ، أما الرمل فهو الناتج المنقول من نواتج عوامل التعرية على الصخور النارية أو المتحولة وتتراوح قطر حبيباته من $\frac{1}{4}$ مم إلى ٤ مم وفى معظم أنواع الرمال نجد أن أعلى نسبة من الأكاسيد هى نسبة السليكا ($Si\,O_2$) .

ويخلط الحجر الجيرى أو الرمل مع كلنكر الأسمنت العادى ويطحنهما معا ينتج ما يعرف بالأسمنت المخلوط أو أسمنت المونة أو أسمنت المبانى ويمكن إضافة عوامل إدخال الهواء المحبوس خاصة مع الأسمنت المخلوط بالحجر الجيرى .

وهذا النوع من الأسمنت يحتاج عادة إلى الطحن إلى درجة عالية من النعومة ويلاحظ أن الحجر الجيرى يساعد على طحن الأسمنت إلى درجة عالية من النعومة أى أنه عامل مساعد للطحن أما طحن الرمل مع الكلنكر فيحتاج إلى بذل شغل أكبر وتكون صلابة حبيبات الرمل وحبيبات الكلنكر والحجر الجيرى على الترتيب كما يلى :

$6\frac{1}{2}$ إلى ٧ ، $4\frac{1}{4}$ إلى $4\frac{3}{4}$ ، $2\frac{3}{4}$ إلى ٣ (حسب مقياس موهر Mohr's Scale)

ويستخدم هذا النوع من الأسمنت فى صناعة المونة ذات القابلية العالية للتشغيل والتى تكون مادة جيدة لصق الطوب الأحمر والطوب الخرسانى والأحجار .

خامسا : جداول تصميم كميات الاضافات

مع اتساع استخدام الاضافات فى الخارج قامت الهيئات والمنظمات بعمل جداول تساعد على اختيار نوع الاضافة وكذلك كياتها وإن كانت الخبرة والاختبارات المعملية هما الفيصل فى أى مشكلة .

والجدول رقم (٤ - ٤) يبين مثالا لأحد الجداول الشائعة الاستخدام فى الولايات المتحدة الأمريكية .

ولقد عمل هذا الجدول باختبار إضافات عديدة فى المعمل أمكن منها تقدير قيمة كل إضافة عن طريق عامل خاص على أساس المقاومة المتوقعة بعد ٢٨ يوماً وعلى أساس قابلية التشغيل الناتجة وذلك لمحتوى أسمنت ٤٠٠ ، ٥٠٠ باوند لكل ياردة مكعبة من الخرسانة ويستنتج عامل الإضافة عن طريق تعويض كمية من الأسمنت بكمية متكافئة من الإضافات للحصول على نفس المقاومة أو نفس قابلية التشغيل .

وعلى ذلك يعرف عامل الإضافة بأنه عدد الوحدات الوزنية من الأسمنت التى يمكن أن تحل محل وحدة وزنية من الاضافات وذلك لمحتوى أسمنت معين (أخذ فى الجدول ٤٠٠/٥٠٠ باوند).

مثال تطبيق لكيفية استخدام الجدول رقم (٤ — ٤) :

بفرض إمكان الحصول على الجير المطفأ فإن استخدام باوند من الجير المطفأ بديلا لكل نصف باوند من الأسمنت وذلك لخلطة تحتوى على ٤٠٠ باوند أسمنت الياردة المكعبة يمكن الحصول على نفس المقاومة بعد ٢٨ يوماً . لذلك يمكن استعمال ٨٠ باوند من الجير المطفأ بدلا من ٤٠ باوند من الأسمنت فى هذه الحالة ، كما يمكن تقليل الأسمنت من ٤٠٠ إلى ٣٦٠ باوند مع إضافة ٨٠ باوند من الجير .

يجب أن يكون الجير المطفأ متوافراً بثمن يقل عن نصف ثمن الأسمنت حتى تكون هذه الطريقة اقتصادية .

وبالنسبة لخلطة غنية فإن ٨٠ باوند من الإضافات تكون مكافئة لـ ٩,٦ باوند من الأسمنت أو بتعبير آخر يلزم لانقاص كمية الأسمنت المستخدمة بمقدار ٤٠ باوند استعمال ما قيمته $\frac{٤٠}{١,٢}$ باوند من الجير المطفأ أى ٣٣,٣ باوند منه وذلك للوصول إلى نفس المقاومة بعد ٢٨ يوماً .

جدول رقم (٤ — ٤) تصميم كميات الاضافات الخرسانة

نوع الاضافات	تقسيم على أساس المقاومة بعد ٢٨ يوماً — كمية الأسمنت البورتلاندى المستخدم بالباوند لكل ياردة مكعبة				عامل الاضافة على أساس قابلية التشغيل والمناولة
	٤٠٠ باوند		٥٠٠ باوند		
	كمية الإضافة بالباوند	عامل الاضافة	كمية الإضافة بالباوند	عامل الاضافة	
الخبث	٥٠	,٦٠	٥٠	,٢٠	١,٠٧
	١٠٠	,٥٠	١٠٠	,١٥	
الجير الهيدروليكى	٥٠	,٩٠	٥٠	,٥٠	١,٣٧
	١٠٠	,٧٥	١٠٠	,٤٠	
الجير المطفأ	٤٠	,٧٥	٤٠	,١٢	١,٧٦
	٨٠	,٥٠	٨٠	,١٢	
أسمنت طبيعى	٥٠	,٢٥	٥٠	,١٠	١,١٢
	١٠٠	,٢٥	١٠٠	,١٥	
رماد	٥٠	,٨٠	٥٠	,٧٠	١,١١
	١٠٠	,٦٥	١٠٠	,٥٠	
بلورات التلك	٤٠	,٦٥	٤٠	,٢٥	١,٦٧
	٧٥	,٣٥	٨٠	,٢٥	

وبفرض أن المطلوب هو تساوى قابلية التشغيل وليس المقاومة فإن باوند واحدا من الجير فى هذه الحالة يكافىء ١,٧٦ باوند من الأسمنت أى بفرض خلطتين إحداهما تكون من ٥٠٠ باوند من الأسمنت والأخرى من ٤٠٠ باوند من الأسمنت مع ٥٧ باوند من الجير المطفأ فإن قابلية تشغيلها تكون واحدة ولكن تختلف مقاومتها حتما بعد ٢٨ يوماً من الصب إذ الثانية قد تقل مقاومتها بمقدار ٢٥٪ تقريباً .