الباب الثانى

الأسمنت

مقدمة :

أولا : ماهو الاسمنت البورتلاندى

ثانيا : تطور الاسمنت البورتلاندى

ثالثا : صناعة الاسمنت

(ا) طرق صناعة الأسمنت (ب) استخلاص الخامات وتجهيزها .

(حـ) خلط وطحن المواد الأولية (ى) حرق المواد الأولية فى الأفران.

(هـ) طحن الكلنكر والتحكم فى الشك (و) التعبئة والنقل

رابعا : مكونات الاسمنت البورتلاندى وخواصه الكيميائية

خامسا : الخواص الطبيعية والميكانيكية للأسمنت البورتلاندى

(ا) النعومة (ب) الكثافة النوعية (حـ) الشك والتصلد

(ى) المقاومة (هـ) ثبات الحجم

سادسا : انواع الاسمنت البورتلاندى

(ا) مبكر المقاومة العالية (ب) منخفض الحرارة (حـ) أبيض

(ى) ملون (هـ) ذو هواء محبوس (و) سدود للماء

(ز) مقاوم للبكتريا (ح) آبار البترول (ط) خبث الأفران العالية

سابعا: بعض الانواع الاخرى من الاسمنت

(ا) الأسمنت الطبيعى (ب) الأسمنت عالى الألومينا

(حـ) الأسمنت المخلوط (كرنك)

ثامنا : مقارنة لتركيب وخواص أنواع الأسمنت المختلفة

تاسعا: الاختبارات الطبيعية والميكانيكية والتحاليل الكيميائية للاسمنت

(ا) نبذة تاريخية عن تطور طرق الاختبار للمواد الأسمنتية .

(ب) المواصفات القياسية للاسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت البورتلاندى سريع التصلد . م . ق ٢٧٣ / ١٩٦٣.

(حـ) الطرق القياسية للتحليل الكيميائى للأسمنت البورتلاندى . م . ق ٤٧٤/١٩٦٣

مقدمة :

إن للاسمنت ومواده والخرسانة التى أسهم فى تكوينها قصة قديمة تضرب بعيداً فى أعماق التاريخ بالرغم مما يبدو لنا من حداثة معرفتنا به كأسمنت بورتلاندى وخرسانة . ولعل أصل مواد الأسمنت التى تتراءى لنا فى أفق التاريخ البعيد تلك المادة التى نسميها اليوم بالجير العادى والجير الهيدروليكى (المائى) .

والجير العادى باختصار ، عبارة عن حجر جيرى نقى تم تكليسه فأنتج ما يعرف بالجير الحى . وبعد إطفاء الجير الحى بالماء يستخدم بعد خلطه بالرمل ليكونا المونة التى تتجمد وتتماسك وتقوى نتيجة امتصاص الجير ثانى أكسيد الكربون من الجو فيتحول بذلك أكسيد الكلسيوم إلى كربونات الكلسيوم أى إلى طبيعته الأولى كحجر جيرى قبل إجراء عملية التكليس عليها .

وفى الجانب الآخر يمكننا أن نرى الجير الهيدروليكى الذى له خاصية التماسك والتجمد والتقوى تحت الماء أو فى الهواء . . . وتنتج هذه المادة من تكليس الحجر الجيرى غير النقى والذى يحتوى على سليكا وألومنيا وأكسيد الحديد والتى تعطى له خاصة التجمد تحت الماء .

وقد كان قدماء المصريين أول من أدلى بدلوه فى ميدان استعمالات المواد الأسمنتية الناتجة من الجير والجبس . ثم جاء الأغريق والرومان فاستعملوا الحجر الجيرى بعد تكليسه وانتجوا بعد ذلك الأسمنت البوزولانى وذلك بعد طحن خليط من الجير والتراب البركانى المسمى بالبوزولان الذى وجد لأول مرة بالقرب من بلدة بوزولى (Pozzoli) فى إيطاليا قريبا من خليج نابولى .

وقد استخدمت هذه المواد على نطاق واسع فى السنوات من ٤١ إلى ١٢ قبل الميلاد أثناء حكم الامبراطور يوليوس قيصر . وقد وجدت هذه المادة مستخدمة كمادة أسمنتية فى مبنى الأقزام وقد ظل هذا المبنى مغموراً تحت الماء فى ميناء بوزولى لمدة تزيد عن ألفى سنة .

وقد استعمل الأغريق مادة مماثلة أسموها سانتورين توفا (Santorin Tefa) من جزيرة سانتورين (Santorine) وكانت الخرسانة الناتجة تتكون من هذا الأسمنت البوزولانى والركام والجير . وهناك الكثير من الأبنية القائمة حتى اليوم شاهدة على

امتياز الأسمنت البوزولانى وتفوقه على الجير العادى . كما تشهد أيضا أن الأغريق والرومان قد تقدموا بإنتاج المواد الأسمنتية .

أما الفترة التالية من تاريخ إنتاج الأسمنت فهى العصور الوسطى وقد شاهدت تأخراً فى طريقة صنع المواد الأسمنتية والخرسانة ورجوعا لمبادىء العصر القديم .

وفى هذا العصر أهملت مواد الأسمنت البوزولانى وتدهورت صناعة الجير وأصبحت المونة الجيرية رديئة إلى أن كانت الفترة التى تقع بين القرنين الخامس عشر والسادس عشر حيث ظهرت تحسينات تدريجية واتجاهات نحو استعمال الأسمنت البوزولانى .

وفى سنة ١٧٥٦ كلف البرلمان البريطانى ، المهندس جون سمبتون (John Smeaton) ببناء منارة إدى ستون (Eddy Stone) القريبة من ساحل كورن وول (Corn Wall) فى انجلترا وكانت هذه المنارة فى موقعها عرضة لكثير من الزوابع فكانت الحاجة ماسة إلى مادة قوية متماسكة لها صفة الدوام . لذلك قام سمبتون بعدة تجارب على عدد من أنواع الجير والأسمنت البوزولانى التى أجرى عليها الاختبارات العديدة فى كل من الماء العذب والمالح ليرى مدى احتمال تأثير كل من نوعى الماء على خرسانتهما . وكان من أهم نتائج تجاربه أن الحجر الجيرى غير الصلد وغير النقى والذى يحتوى على مواد طينية يعطى أسمنتا هيدروليكيا من أجود الأنواع . واستخدم هذا النوع من الأسمنت الهيدروليكى فى بناء منارة إدى ستون .

وبعد أربعين سنة أكتشف جوزيف باركر (Joseph Parker) من بلدة نورث فليت (North Fleet) بانجلترا أن مزيدا من الحجر الجيرى غير النقى ينتج أسمنتا مائيا ممتازا وهو مايسمى بالأسمنت الرومانى نظرا لأن تكوينه ولونه لايختلفان عن الأسمنت الرومانى القديم .

وفى سنة ١٨٠٢ أمكن إنتاج أسمنت من هذا النوع فى فرنسا وكان هذا بداية إنتاج الأسمنت فى تلك البلاد .

وفى سنة ١٨١٠ توصل أدجار دوبز (Edgar Dobbs) من بلدة سوث ويك (South Wik) بانجلترا إلى أسمنت ناتج من الحجر الجيرى والطين . وفى سنة ١٨١٣ ابتدأ فيكات الفرنسى (Vicat) ثم جيمس فدوست الانجليزى فى سنة ١٨٢٢ فى إنتاج الأسمنت من الحجر الجيرى والطين ، وكانت الخطوة التالية فى تاريخ الأسمنت هى

إنتاج الاسمنت الطبيعى الذى يعتمد على أحجار الاسمنت التى تنتج مادة أسمنتية عند تكليسها وطحنها . ويعتمد الأسمنت الطبيعى على التركيب الكيمائى للمواد التى تتكون منها الأحجار المستخرجة من المحاجر . فكانت هذه الصخور تحرق فى الأفران القائمة (Shaft Kilns) التى تشبه إلى حد ما أفران الجير القديمة ثم تطحن لتصير اسمنتا فى صورته النهائية .

ولا يزال الأسمنت الطبيعى ينتج إلى الآن فى الولايات المتحدة الأمريكية وبعض البلاد الأخرى وهو أقوى بكثير من الجير المائى .

وكان آخر نوع من اكتشافات هذه السلسلة هو اكتشاف الاسمنت البورتلاندى الذى اكتشفه جوزيف اسبيدن (Joseph Aspdin) البناء الانجليزى شكل رقم (٢-١) ومما يجدر ملاحظته أن سميتون (Smeaton) قبل ٦٨ عاما كان قد أعلن عن نتائج

شكل رقم (٢ - ١) أسبيدن البناء الانجليزى أثناء إجرائه إحدى تجاربه

أبحاثه التى أكدت عمل أسمنت يضاهى الأسمنت البورتلاندى من حيث الجـــودة والصلادة وغير ذلك . ويرجع اسم بورتلاند إلى تشابه صلادة الأسمنت البورتلاندى مع بعض أحجار البناء الموجودة فى جزيرة بورتلاند بانجلترا .

ومن المواصفات الواردة فى براءة اختراع أسبيدن يتبين بوضوح أنه أنتج أسمنتا طبيعيا أكثر امتيازاً وإن كان لا يقارن إطلاقا بالأسمنت البورتلاندى الحالى .

وقد أنشىء أول مصنع بانجلترا لإنتاج الأسمنت البورتلاندى الذى اكتشفه أسبيدن فى سنة ١٨٢٥ .

ومنذ أن ظهرت براءة اختراع أسبيدن عكف المهندس بيسلى (Beasly) بسلاح المهندسين بانجلترا على أبحاث هذا النوع من الأسمنت . وبعد أثنى عشرة سنة أى فى سنة ١٨٣٧ نشر نتائج بحوثه ومن ذلك التاريخ أصبحت صفات الأسمنت البورتلاندى وخصائصه معروفة وظهرت صلاحيته وتفوقه على الأسمنت الطبيعى . وأول مصنع أنشىء خارج إنجلترا لصناعة الأسمنت كان فى بلجيكا وألمانيا فى سنة ١٨٥٥ . وفى سنة ١٨٧٠ أنشىء أول مصنع له فى الولايات المتحدة الأمريكية وأخذت هذه الصناعة منذ ذلك الوقت تنتشر فى أمريكا حتى أصبح بها الآن ١٦٦ مصنعا للأسمنت بأنواعه العديدة .

ثم توالى انتشار صناعة الأسمنت واستعمالاته فى كل بلاد العالم محتفظة للاسمنت الناتج بهذا الاسم الذى سجله أسبيدن البناء الانجليزى فى سنة ١٨٢٥ .

ويرجع أول عهد لمصر بالأسمنت البورتلاندى إلى سنة ١٩٠٠ حيث أنشىء أول مصنع له فى بلدة المصرة باستعمال الطريقة الجافة والأفران القائمة . واستمر فى الإنتاج حتى سنة ١٩٢١ حيث أدمج هذا المصنع فى شركة أسمنت طرة . وبلغت أقصى طاقة إنتاجية له ١٠٠,٠٠٠ طن فى السنة .

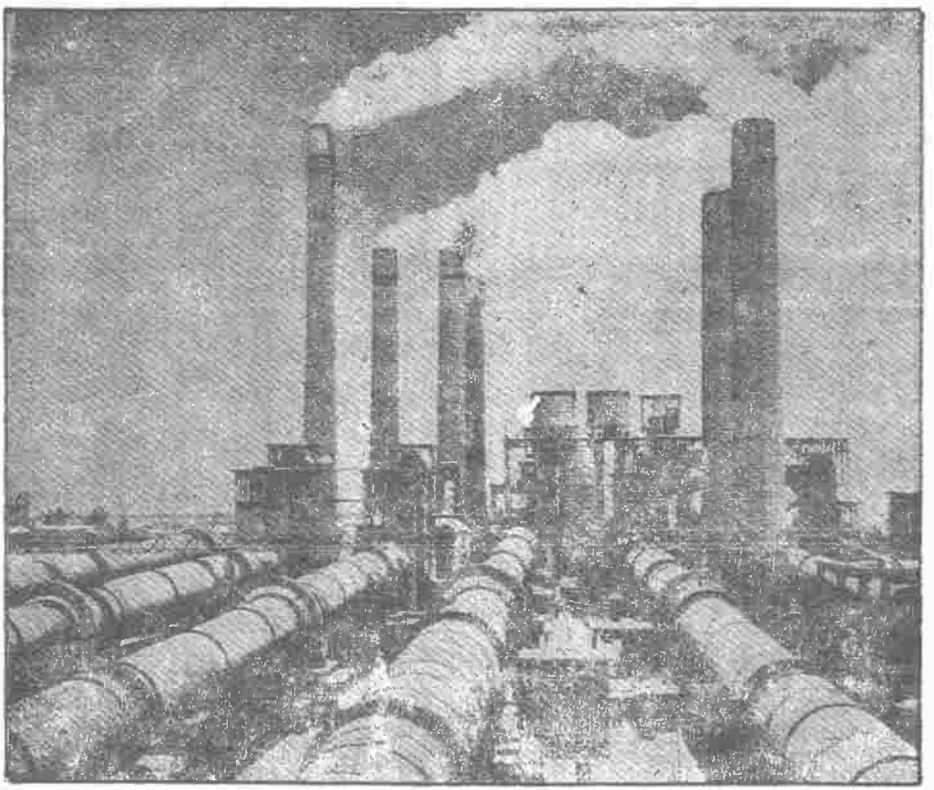
وفى سنة ١٩١١ أقيم مصنع صغير بالأسكندرية لإنتاج أسمنت طبيعى من مادة خام مستوردة من « د الماسيا » بيوغوسلافيا وتوقف عن الإنتاج أثناء الحرب العالمية الأولى ثم عاد إلى العمل بغير النظام حتى توقف نهائيا سنة ١٩٣٦ .

وفى سنة ١٩٢٧ تأسست شركة أسمنت بورتلاند طرة المصرية وبدأ مصنعها الذى أقيم بجهة «طرة» فى الإنتاج سنة ١٩٢٩ بالطريقة الرطبة والأفران الدوارة (Rotary Kilns)

وأخذت أفرانها تتزايد حتى بلغت أخيراً خمسة ويعتبر الفرن الخامس فى هذا المصنع أكبر الأفران فى مصر ومن أكبر الافران فى العالم وتبلغ طاقة المصنع الإنتاجية ٩٠٠ ألف طن سنوياً .

وفى فبراير سنة ١٩٢٩ تأسست شركة أخرى للأسمنت البورتلاندى بحلوان وبدأ المصنع شكل رقم (٢ — ٢) فى الإنتاج فى مايو سنة ١٩٣٠ بفرن واحد يعمل بالطريقة الرطبة وكانت طاقته الإنتاجية ٩٥,٠٠٠ طن فى السنة ثم زيدت أفرانها حتى بلغت ستة مجموع طاقتها الإنتاجية ٩٠٠ ألف طن سنويا .

وفى سنة ١٩٤٨ تأسست شركة الإسكندرية للأسمنت البورتلاندى وأقامت مصنعها بجهة « المكس » ويوجد بالمصنع فرن واحد يعمل بالطريقة الرطبة وبدأ إنتاجه سنة ١٩٥٠ وتبلغ طاقته الإنتاجية حوالى ١٥٠,٠٠٠ .



شكل رقم (٢ ـ ٢) مصنع شركة الأسمنت البورتلاندى بحلوان

وفى سنه ١٩٥٦ تأسست الشركة القومية لإنتـــاج الاسمنت وأقيم مصنعها بحهة « التبين » قرب حلوان لينتج أسمنت بورتلاندى بالإضافة إلى « أسمنت بورتلاندى حديدى » الذى يعتمد على جلخ الحديد (Slag) ويعتمد المصنع على فرنين تقدر طاقتهما الإنتاجية بحوالى ٤٢٠,٠٠٠ طن فى السنة وبذلك يصبح مجموع الطاقه الإنتاجية لصناعة الاسمنت البورتلاندى والحديدى بمصر نحو ٣,٣٧٠,٠٠٠ طن سنوياً يقوم بإنتاجها أربعة عشر فرناً دوارا تعمل بالطريقة الرطبة .

وقد عمد القائمون على صناعة الأسمنت فى مصر منذ إنشائها على تتبع التطور الحديث لهذه الصناعة فحصلت على أحدث الأجهزة والآلات وخفضت تكاليف الإنتاج ما أمكن وأنتجت أنواعاً مختلفة من الأسمنت حسب احتياجات البلاد من الاستهلاك المحلى وهى :

١ ــ أسمنت بورتلاندى عادى	Ordinary Portland
٢ ــ « « سريع التصلد (سوبر كريت)	Super-crete
٣ ــ « « منخفض الحرارة	Low Heat
٤ ــ « « يقاوم مياه البحار والمياه الكبريتية	Sea Water
٥ ــ « « حديدى	Blast Furnace Slag
٦ ــ « « أبيض	White Portland
٧ ــ « « مخلوط (كرنك)	Karnak

أولا : ماهو الاسمنت البورتلاندى :

ليس هناك تعريف عام للأسمنت البورتلاندى بل يلاحظ اختلاف هذا التعريف فى المواصفات القياسية للدول المختلفة وفيما يلى نص لتعريف هذا النوع من المواد اللاحمة فى المواصفات المختلفة .

بريطانيا :

يصنع الأسمنت البورتلاندى من خلط المواد الكلسية (Calcarious) والطينية (Argillacious) أو مواد تحتوى على سليكا وألومينا وأكسيد حديد ولا يضاف لناتج الخلط بعد الحرق إلا كبريتات الكالسيوم أو الماء أو كلاهما .

الولايات المتحدة الأمريكية :

يصنع الأسمنت البورتلاندى بحرق مواد كلسية وطينية بعد خلطهما جيداً ثم يطحن الكلنكر (Clinker) المتحصل عليه طحنا جيدا ولا يسمح بإضافة مواد أخرى ما عدا الجبس المحروق أو غير المحروق والماء .

ألمانيا :

يصنع الأسمنت البورتلاندى بإضافة خامات لا تقل عن ١,٧ جزء بالوزن من الجير إلى جزء واحد بالوزن سليكا قابلة للذوبان + ألومينا (Al_2O_3) + أكسيد حديد (Fe_2O_3) وتخلط هذه المواد خلطا جيدا ثم تطحن وتحرق حتى بدء الانصهار وبعد ذلك تطحن المواد المحروقة طحنا جيدا ولا يضاف إلى الأسمنت البورتلاندى أكثر من ٣ ٪ من مواد أخرى للأغراض الخاصة .

فرنسا :

الأسمنت البورتلاندى عبارة عن خليط من كربونات الجير والسليكا والألومينا والحديد ثم يحرق الخليط لدرجة الانصهار ثم يطحن .

جمهورية مصر العربية :

الأسمنت البورتلاندى العادى أو سريع التصلد هو المادة الناعمة الناتجة عن طحن وتنعيم ناتج حرق المواد الجيرية والطينية (أو المواد الجيرية والمواد المحتوية على سليكا وألومينا وأكسيد حديد) لدرجة التسميت على أن تكون هذه المواد مخلوطة قبل عملية الحرق خلطا تاما جيدا بنسبة معينة مع عدم إضافة أى مادة أخرى بعد الحريق سوى مادة الجبس ــ محروقة أو غير محروقة ــ والماء .

ويجدر ملاحظة أن جميع التعاريف تنص على عدم إضافة أى مادة لناتج طحن المواد المحروقة إلا الماء وكبريتات الكالسيوم (الجبس) بنسب معينة لاغراض خاصة .

ثانيا : تطور الاسمنت البورتلاندى :

فى أول العهد بصناعة الأسمنت البورتلاندى كانت تسخن المواد الخام من الحجر الجيرى والمواد الطينية قبل عملية التكليس . وكانت تجرى هذه العملية فى الأفران القائمة وتمر بسلسلة من العمليات التى تشبه عملية حرق الطوب الطينى فى الوقت الحاضر

كما أن الإنتاج النهائى كان حتى هذه الأيام مازال عرضة لاحتمال زيادة التكليس أو نقص الاحتراق بصفة عامة .

ومن المعروف أن استخدام الأفران الدوارة الذى بدأ فى سنة ١٨٨٩ لتكليس مواد الأسمنت البورتلاندى يعتبر ثورة تقدمية فى صناعة الأسمنت ليس فقط من ناحية القدرة الإنتاجية بل أيضاً فى تأمين إنتاج أنواع جيدة من إنتاج موحد .

وباستخدام الأفران الدوارة بدأ عهد العمليات المستمرة والإنتاج على نطاق واسع للأسمنت البورتلاندى حتى أنه تقدم فى امريكا من ٣٠,٠٠٠ برميل إلى ٢٥٠,٠٠٠ برميل فى السنة وتبع هذه الطفرة زيادة فى جودة الصنف المنتج .

وفى خلال السنوات القليلة التى تلت تشغيل الأفران الدوارة كان هناك تقدم وتحسينات مستمرة عليها منها زيادة طولها وقطرها وقدرتها الانتاجية كما زادت استعمالات الآلات والأجهزة الأوتوماتيكية فى الفرن بدلا من العمل اليدوى .

وكان تقدم عملية الأفران الدوارة فى هذه المرحلة نتيجة لتطور نظرة الباحثين إلى الفرن من الناحية العلمية بعد أن كانت هذه النظرة فنية بحتة فأصبحت عمليات الأفران تستلزم خبراء مهرة .

ومع ذلك فمن ناحية المقاييس الحرارية فإن الأفران الدوارة لم تصل بعد إلى الكمال وتتطلب بحثا مستمراً ويتوقع لها تحسينات عديدة مقبلة فى السنوات القادمة . كما أن هناك حاجة ماسة إلى التحسينات من الناحية الآلية فى مراحل هذه الصناعة .

أما عملية الطحن والتى تعتبر فى المرتبة الثانية من الأهمية بالنسبة لعملية التكليس فى صناعة الأسمنت البورتلاندى فما زالت تلعب دوراً هاماً وكبيراً فى كمية الإنتاج ودرجة جودته .

وعملية الطحن تساهم فى عملية إنتاج الاسمنت بخطوتين :

الأولى — عند تجهيز المواد الأولية قبل حرقها فى الأفران .

والثانية — بعدها عند طحن الكلنكر لتكوين الانتاج النهائى .

ودرجة النعومة المطلوبة لها علاقة كبيرة بنشاط وفاعلية وخواص الأسمنت النهائى لذلك تطورت عملية الطحن فى نطاق واسع تبعاً لمطالب العمل ونتيجة التأثير الكبير الذى ينتج عنها .

ولكن هذه التحسينات مهما بلغت فإنها لم تصل فى نتيجتها إلى التغير الهام فى صناعة الأسمنت البورتلاندى نتيجة الانتقال الرائع من استعمال الأفران القائمة (ذات الأسطوانات الرأسية) إلى الأفران الدوارة .

ونتيجة لتطبيق استعمال الطواحين ذات الأقسام الداخلية سواء فى طحن المواد أو الكلنكر تمكن الإنتاج النهائى من الوصول إلى درجة كبيرة من الجودة مع الاقتصاد الظاهر فى الطاقة المبذولة لانتاج الأسمنت .

وقد تحسن تأثير وفاعلية الطحن تحسناً ظاهراً بعد استعمال هذا النوع من الطواحين بدلا من الطواحين الأسطوانية . وبعد سلسلة التجارب العديدة استقر الرأى على استعمال الطواحين ذات الأقسام والتى سهلت عملية الطحن ، وكان الهدف الرئيسى من البحوث فى هذا المضمار هو الوصول بعملية الطحن إلى درجة معينة يمكن بها ضمان الوصول إلى الخواص الكيميائية والطبيعية للأسمنت الناتج وبالحدود التى يتطلبها العمل .

فمنذ ثمانين سنة كانت المواصفات القديمة التى وضعتها الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (A. S.T. M.) تنص على أنه يجب أن يمر ٧٥٪ من ناتج الطحن من منخل رقم ٢٠٠ أما فى الوقت الحاضر فقد أصبح مرود من ٨٥٪ إلى ٩٥٪ من منخل رقم ٢٠٠ ليس بالعسير .

أما إذا حسبنا درجة النعومة بطريقة المساحة السطحية كما عرفها فاجنر (Wagner) فقد كان الأسمنت القديم يعطى كل جرام منه مساحة سطحية تساوى ١٢٠٠ سم٢/جم فى حين أن الأسمنت الحالى لا تقل المساحة السطحية له عن ١٧٠٠ سم٢/ جم .

ونفس الوضع يجب مراعاته بالنسبة لتحضير المواد الخام لتغذية الفرن إذ كان المتبع قديماً أن تسحق المادة الخام حتى يمر ٩٠٪ منها من منخل رقم ١٠٠ التى تعادل فى درجة نعومتها ٧٥٪ تقريبا من منخل رقم ٢٠٠ فقد كان المتبع فى ذلك الوقت أن تطحن المادة الخام قبل دخولها الفرن إلى نفس درجة النعومة المطلوبة فى الاسمنت الناتج .

ومما لا شك فيه أن طرق الاختبارات المحدودة التى كانت معروفة فى ذلك الوقت لتحديد تأثير النعومة على خواص الأسمنت من ناحيته الطبيعية والكيميائية كانت كافية لتحديد النعومة بالدرجة السابق ذكرها وكانت كافية أيضاً لتحديد كمية الجير الحى بدرجة لا تؤثر على الانتاج النهائى للأسمنت .

هذا بالإضافة إلى أن الناحية الاقتصادية والامكانيات التى كانت موجودة فى ذلك الوقت كانت تحد من الوصول إلى أسمنت على درجة من النعومة أعلى من ذلك وكانت القاعدة العامة أن الحد الأدنى للنعومة هو ذلك الذى يستهلك أقل كمية من الوقود وأقل استهلاك للفرن .

أما فى العصر الحديث فالأبحاث والخبرة وتطور الصناعة أمكنها جميعها الوصول بسهولة إلى وجوب طحن المواد الخام حتى يمر ٩٠ ٪ منها من منخل رقم ٢٠٠ .

ولتنوع انتاج الأسمنت فقد أصبحت درجة نعومة المواد الخام تعتمد اعتماداً كبيراً على النوع المطلوب من الأسمنت البورتلاندى .

كذلك التحسينات الكثيرة التى أدخلت على طرق الاختبار للأسمنت لا سيما اختبارات ثبات الحجم لمعرفة مدى وجود العناصر التى تؤثر على الثبات لعجينة الأسمنت وبصفة خاصة التمدد المتأخر الناتج عن وجود الجير الحى الحر أو المغنيزيا المتبلورة . كل ذلك أظهر تماماً أن النعومة يجب أن تصل إلى درجة عالية مع الأخذ فى الاعتبار عامل الوفر والاقتصاد .

كما أن طحن المواد الخام الطينية والجيرية التى تكون متدرجة فى مقاساتها قد أدخلت عليها تحسينات بغرض الحصول على درجة النعومة المطلوبة .

وبالرغم من أن هذه النقطة لم تبحث على نطاق واسع إلا أنه من المنتظر أن يصبح الطحن المتدرج أكثر استعمالا وبصفة خاصة إذا كانت المواد الخام الجيرية والطينية مختلفة فى درجة قابليتها للطحن . وتوزيع جميع المواد الأولية المكونة للأسمنت فى مقاسات حبيبية مختلفة له تأثير كبير على التوزيع الحجمى النهائى لمركبات الأسمنت الناتجة.

وما لم يتوافر هذا التوزيع المتوازن فإن التفاعلات المبكرة غير العادية سوف تحدث منه.

هذا بالإضافة إلى أن خبرة ثلاثة أرباع قرن فى صناعة الأسمنت قد أثبتت أنه إذا كانت هناك كميات زائدة مقاسها أصغر من الميكرون يكون لها نفس التأثير السيء الناتج من وجود كميات زائدة من المقاسات الكبيرة فى عمليات الحريق .

وقد أثبتت التجارب والحقائق أن المقاس الحبيبى المنتظم للمواد الأولية يعطى أفضل النتائج بشرط ألا يكون هذا المقاس الحبيبى المنتظم كبيراً نسبياً .

وتنوع طرق الفصل الحبيبي فى الطريقتين الجافة والرطبة فى صناعة الأسمنت يعطى إمكانيات أكيدة لتطور وتحسينات فى المستقبل فى هذا المضمار .

أما التركيب الكيميائى للأسمنت البورتلاندى فقد حدثت فيه تطورات وتغيرات هامة كانت متمشية إلى حد كبير مع تطور احتياجات المواد التى يدخل الأسمنت كعنصر رئيسى فى تكوينها .

وكان الأسمنت فى الأيام الأولى يحتوى على نسبة أقل من أكسيد الكالسيوم عنه فى الوقت الحاضر كما يظهر ذلك بوضوح فى الجدول رقم (٢ — ١) .

وحتى سنة ١٩٢٠ كان الأسمنت البورتلاندى لا يحتوى على أكثر من ٤٠ ٪ من ثلاثى سليكات الكالسيوم كما حسبت بطريقة بوج (Bogue) بمتوسط حوالى ٣٣ ٪ وهو يخالف تركيب الأسمنت الحالى حيث أن نسبته الآن تتراوح بين ٤٥ ٪ إلى ٥٠ ٪ وبحد أقصى قيمته ٦٥ ٪ للأسمنت مبكر المقاومة العالية (High Early Strength) .

وحيث أن مقاومة الأسمنت فى فترة الأربعة أسابيع الأولى تتوقف إلى حد كبير على كمية ثلاثى سليكات الكالسيوم فمن هذا تبدو لنا الأهمية المعقودة على زيادة كمية الجير فى الأسمنت .

ومن المعروف نظرياً أن زيادة نسبة الجير ينتج عنها زيادة نسبة الجير الحى الحر

جدول رقم (٢ — ١) — مقارنة بين تركيب الأسمنت فى الماضى والحاضر

تركيب الأسمنت		الأسمنت القديم	الأسمنت الحديث
سليكا	$Si\ O_2$	٢١,٧	٢١,٠٠
الومينا	$Al_2 O_3$	٧,١٠	٦,٥٠
اكسيد الحديد	$Fe_2 O_3$	٢,٥٠	٢,٥٠
اكسيد الكالسيوم	$Ca\ O$	٦٢,٢٠	٦٤,٠٠
اكسيد ماغنسيوم	$Mg\ O$	٣,٨٠	٢,٥٠
ثالث اكسيد الكبريت	$S\ O_3$	١,٦٠	٢,١٠
سليكات ثلاثى الكالسيوم	$C_3\ S$	٣٢,٨٠	٤٨,٠٠
سليكات ثنائى الكالسيوم	$C_2\ S$	٣٧,٠٠	٢٧,٠
ألومنيات ثلاثى الكالسيوم	$C_3\ A$	١٤,٢٠	١٢,٠٠
ألومنيات حديد رباعى الكالسيوم	$C_4\ A\ F$	٧,٧٠	٨,٠٠

نتيجة لعدم تفاعله كلية أثناء التكليس ولكن يطمئننا فى هذه الناحية زيادة النعومة للمواد الخام والتحسينات التى أدخلت على الأفران والتى تتسبب فى تقليل نسبة الجير الحى الحر فى الأسمنت الحالى .

أما ثنائى سليكات الكالسيوم ذلك المركب المرافق لثلاثى سليكات الكالسيوم فقد وجد أن له تأثيراً كبيراً ومسئولية عظيمة أيضاً على اكتساب المقاومة فى عجينة الأسمنت أو المونة أو الخرسانة فى الفترة التى تلى الأربعة أسابيع الأولى وما يليها .

ومن المحتمل أيضاً أن يكون هذا المركب مسئولا عن الظاهرة المعروفة باسم الالتئام الذاتى (Autogenous Healing) والتى بواسطتها تغلق التشققات الشعرية فى المونة أو الخرسانة فلا تسمح بنفاذ أى سائل خلالها كما تعيد إلى مونة الأسمنت وخرسانة الأسمنت احتمالها لاجهادات الشد العادية وعلى هذا الأساس فإن الاحتياجات لكمية معينة صغيرة من ثنائى سليكات الكالسيوم مرغوب فيها . ويظهر أن كمية ثنائى سليكات الكالسيوم فى الأسمنت البورتلاندى يجب ألا يسمح بإقلالها إطلاقاً عن ١٠٪ مع مراعاة نوع الأسمنت المستخدم .

وقبل سنة ١٨٥٢ كان متوسط كمية ثنائى سليكات الكالسيوم فى الأسمنت البورتلاندى من ٣٥٪ — ٤٠٪ وأثناء الفترة بين سنة ١٩٢٦ وسنة ١٩٣٠ كان هناك تقليل تدريجى حتى وصلت فى أيامنا هذه إلى القيمة المتوسطة بين ٢٠٪ — ٣٠٪ ، وهذا النقص يرجع إلى الرغبة فى زيادة ثلاثى سليكات الكالسيوم التى زيدت بناء على الرغبة فى زيادة مقاومة عجينة الأسمنت ومونة الأسمنت وخرسانة الأسمنت لقيمة معينة فى الأربعة أسابيع الأولى .

أما فيما يتعلق بثلاثى ألومينات الكالسيوم الذى يدخل فى تركيب الأسمنت البورتلاندى القياسى فلم يطرأ عليه تغيير كبير والأرقام تشير إلى أن التغير لم يتجاوز ٢٪ فى خلال هذه الفترة وذلك نتيجة لانتظام التركيب الكيميائى للمواد الطينية المستعملة على مر السنين .

أما رباعى ألومينات حديد الكالسيوم ولو أن المعرفة به ترجع إلى سنة ١٩٢٠ إلا أنه تغير تغيراً قليلا نتيجة التطور والتحسينات التى أدخلت على إنتاج الأسمنت ونتيجة لكل هذه التطورات وجدت أنواع مختلفة من الأسمنت البورتلاندى العادى

التى يوجد منها فى الولايات المتحدة الأمريكية خمسة أنواع غير ثلاثة أنواع أخرى من الاسمنت البورتلاندى ذى الهواء المحبوس .

أما فى جمهورية مصر العربية فكما ذكرنا آنفا توجد عدة أنواع من الاسمنت البورتلاندى وهذه الأنواع المتعددة من الاسمنت البورتلاندى تعنى أن مقاومة الاسمنت ليست هى فقط مجال تعديل وتطوير ولكن هناك أيضا صفات أخرى لا تقل فى أهميتها فى كثير من الاعمال عن هذه الخاصية .

مثال ذلك مقاومة الاسمنت للكبريتات وخفض الحرارة الناتجة أثناء التفاعل كما أن المدرسة الحديثة للانشاءات أخذت تطالب بالمقاومة العالية المبكرة للاسمنت ولم تقتصر على ذلك بل تفكر أيضاً فى الاسمنت الذى يتحمل مع مرور الزمن الاجهادات الواقعة عليه ، كما أن الحاجة إلى الانتهاء من بناء المشروعات المختلفة جعلت هناك طلباً متزايداً على الاسمنت ذى المقاومة المبكرة .

والاسمنت عالى المقاومة تبلغ درجة نعومته فى العادة محسوبة بطريقة فاجنر من ٢٤٠٠ إلى ٣٠٠٠ سم٢/جم . وقد تطور هذا الاسمنت وأمكن الوصول إلى كمية عالية من ثلاثى سليكات الكالسيوم بواسطة عملية الحريق المزدوج وبهذه العملية أيضاً أمكن التخلص من احتمال وجود كمية زائدة من الجير الحى الحر فى الكلنكر وبالتالى أمكن استعمال كميات أكبر من الجير لضمان الحصول على النسبة العالية المرغوبة من ثلاثى سليكات الكالسيوم .

وكان نتيجة لارتفاع سعر الاسمنت سريع التصلد ظهور تحسينات إضافية جديدة على الاسمنت البورتلاندى العادى فظهر فى الولايات المتحدة الأمريكية نوع جديد من الاسمنت البورتلاندى العادى يتميز بزيادة درجة نعومته ويعطى مقاومة مبكرة وفى نفس الوقت لاتصل تكاليفه إلى تكاليف الاسمنت سريع التصلد والمساحة النوعية للسطح لهذا النوع تتراوح قيمتها من ٢٤٠٠ إلى ٢٥٠٠ سم٢/جم .

والفرق الرئيسى بين هذا النوع من الاسمنت البورتلاندى القياسى ذى درجة النعومة العالية وبين الاسمنت سريع التصلد هو نسبة ثالث أكسيد الكبريت ، ففى الأول لاتتجاوز هذه النسبة ٢ ٪ بينما تسمح المواصفات فى الثانى إلى تجاوز هذه النسبة إلى نسبة قصوى تصل إلى ٢,٥ ٪ كما أن الأبحاث الجارية للاسمنت سريع التصلد تتجه إلى

السماح بنسبة أكبر من ٢,٥٪ من ثالث أكسيد الكبريت .

وفى ختام الحديث عن تطور الأسمنت وعن مقارنة قديمه بحديثه وعن تفضيل البعض لهذا أو لذاك يجدر ذكر تلك العبارة المشهورة للعالم الكبير أرثر كاساجراند (Arther Casagrande) حيث قال :

« كثيراً ما يسمع المرء عن حقائق تخص المنشآت المصرية والرومانية القديمة التى عاشت وقاومت العوامل الجوية قروناً عديدة . ولكنا فى نفس الوقت لم نسمع شيئاً عن آلاف المبانى التى أنشئت فى نفس الوقت وتحولت إلى تراب مع مرور السنين » .

وهذه الحقيقة التى ذكرها أرثر تتفق تماماً مع أمانة المقارنة بين الاسمنت قديمه الذى أنشئت به المنشآت السابقة وحديثه الذى أقيمت به منشآتنا .

من كل ذلك نرى أن تقدم مستوى العلم الحديث بالنسبة للاسمنت ومنتجاته تقدما ملموسا أمر واضح تمام الوضوح وذلك بالنسبة للمعلومات التى قفزت قفزات رائعة عما كانت عليه فى سنة ١٩٣٠ حيث كان لكل أنواع الأسمنت مواصفات واحده ذات حدود وتحفظات تجمع كل هذه الأنواع .

ونتيجة لما قامت به المؤسسات العالمية من أبحاث تطورت المعلومات عن الأسمنت ومنتجاته تطورات متعددة ومتوالية فكشفت عن الكثير من غموض هذه المادة وبصفة خاصة النواحى الكيميائية التى فسرت الكثير من الخواص الطبيعية والميكانيكية لها .

ومن أشهر ما توصل إليه العلم الحديث نتيجة الابحاث العديدة التحكم فى الحرارة المبكرة الناتجة عن تفاعل الأسمنت مع الماء والوصول إلى التقليل من هذه الحرارة واكتشاف أنواع جديدة من الأسمنت تتميز بهذه الصفة .

ويلى هذا كشف آخر هو الوصول إلى الأسمنت الذى يقاوم الكبريتات . . وقبل هذا أو ذاك لن ننسى ما توصل إليه أبرامز (Abrams) فى قانونه المشهور عن نسبة الماء إلى الأسمنت (م / س) الذى أمكن به تحديد خواص الخرسانة الأسمنتية النهائية وبصفه خاصة إجهادات الضغط .

كما أن دراسة وبحث الأسباب التى عملت على وجود الانهيارات والتصدعات فى بعض المشروعات العالمية الكبرى أمكن بها الوصول إلى كشف الكثير من غموض هذه المادة .

وإن التشقق الخطير الذى حدث فى سد باركر (parker dam) فى الاريزونا بالولايات المتحدة الامريكية أظهر خطورة استعمال الركام المحتوى على مواد تتفاعل مع الاسمنت البورتلاندى عالى القلوية وكان التوصل إلى معرفتها خطوة كبيرة فى تقدم تكنولوجيا الاسمنت .

ثم جاء أعظم تقدم فى تاريخ الاسمنت كما يقر بذلك الكثير من العلماء وهو اكتشاف الاسمنت ذى الهواء المحبوس والذى بتصلده تحسنت الخرسانة من حيث إحتمالها التغيرات الجوية ومقاومتها للنضح (Bleeding) ونفاذ السوائل وإمكانية استخدام خلطات ذات نسبة أقل من الاسمنت مع الاحتفاظ بدرجة عالية من التشغيل والخواص الأخرى للخرسانة هذا بالإضافة إلى مقاومتها عند الخلط للانفصال الحبيبى وتقليله نسبة الماء إلى الاسمنت مع الاحتفاظ بجودة احتمال اجهادات الخرسانة كل ذلك بالإضافة إلى مساهمته فى خفض التكاليف النهائية للمنشأ .

وبالرغم من كل هذه الأبحاث والدراسات فما زالت هناك أسئلة كثيرة لم يمكن الوصول فيها إلى أجابة صريحة أكيدة يجمع العلماء عليها . ومن هذه الأسئلة ما يختص بعملية تصلد الاسمنت البورتلاندى . فلم يمكن حتى الآن تفسير بعض التغيرات الطبيعية والكيميائية التى تطرأ على المنتجات التى تتكون نتيجة اتحاد الاسمنت مع الماء . ولكن الأمل كبير فى الابحاث العلمية التى تجرى الآن بخطوات واسعة فى معامل كثيرة وعلى مستوى رفيع مثل معامل الجامعات ومعاهد الأبحاث ومعامل مؤسسات الاسمنت البورتلاندى كل هذا يجعلنا نأمل فى الوصول إلى إجابة شافية لكل ما يحيط بهذه المادة من غموض والتى ستجعل خرسانة الاسمنت أكثر انتشاراً وأكثر نفعا .

ومع ذلك فيعتبر الأسمنت البورتلاندى فى العصر الحديث ضرورة من ضروريات الحياة نظرا لدخوله فى كل صناعات البناء دون تعقيد فى تشغيله أو طريقة خلطه ليمكن للشخص العادى أن يقوم بخلطه وتصنيع خرسانته ولا تستغنى عنه المشروعات الضخمة كما لا يبنى بدونه الشخص العادى .

والأسمنت مادة سهلة التداول والتشكيل عند خلطها . وبعد إضافة الركام صغيره وكبيره تتكون الخرسانة وتكون عجينة الأسمنت المادة اللاحمة لهذا الركام . ويمكن أن تأخذ الخرسانة أى شكل أو حجم يريده المهندسون عن طريق وضعها فى « الفرم » المكونة لهذه الأشكال والأحجام . ومع إضافة أسياخ الحديد إلى هذه الخلطة وتواجد

خاصية التماسك العالية للحديد مع عجينة الأسمنت توصل المهندس إلى أكبر الانشاءات وأضخمها وتطورت الخرسانة المسلحة ثم ظهرت الخرسانة سابقة الاجهاد التى يمكن استعمالها فى الكبارى ذات البحر الطويل وغيرها من الانشاءات التى كان إنشاؤها قاصرا على استخدام الحديد والصلب قبل اكتشاف مادة الأسمنت التى أمكنها تطوير العلم تطورا عظيما . كما أن هناك استعمالات فنية أخرى يستطيع المهندس المعمارى أن يصل إليها عن طريق هذه المادة بل إنه استطاع أن يستخدمها بكل الألوان التى يرغبها .

ومع كل ما سبق ذكره من اتساع . . وبالرغم من فوائد الأسمنت واستعمالاته الضخمة العديدة إلا أننا يجب أن نعترف بأن له بعض العيوب التى تحد من استعمالاته .

فالتشقق الذى يحدث للخلطات الخرسانية الغنية بكمية الأسمنت نتيجة لقابلية المادة الأسمنتية للتغيير فى الحجم يحد من الكثير مما كان يتوقع له من واسع الاستعمال .

كما أن مونة الأسمنت وخرسانته لا تتحمل إجهادات شد بالإضافة إلى عدم إمكان الوصول حتى الآن إلى الخرسانة التى لها خاصية عدم نفاذ الماء تماما . ولو أنه أمكن ذلك بصعوبة وبإضافات جديدة وعناية فائقة فى معاملتها . كل ذلك يحد من اتساع نطاق استعمال الأسمنت ومشتقاته .

وخرسانة الأسمنت مادة ضعيفة فى عزلها للحرارة ولو أن هذا العيب لا يقتصر على هذا النوع من مواد البناء إذ أن جميع ما يشابهها من المواد التى تستطيع أن تحل محلها مثل الحديد يعادلها فى هذه الصفة بل نراه يفوقها فى عدم عزله للحرارة ، كذلك من العيوب التى تؤخذ على خرسانة الأسمنت أنها تزحف (creep) تحت الأحمال الثابتة والتى تحد من حرية المصمم فى الإنشاءات . ولعل هذا العامل كان سببا رئيسيا فى تأخير الوصول إلى تطبيق نظرية الخرسانه سابقة الاجهاد .

يضاف إلى العيوب السابقة ما تتصف به الخرسانة من زيادة ثقلها مما يتطلب أساسات ضخمة . ولو أن الأمل معقود الآن على تحسين خواص الخرسانة الحقيقية حتى تساير الاضطراد الذى بدأته وقطعت فيه أشواطا بعيدة .

ثالثا : صناعة الاسمنت :

اتبع فى صناعة الأسمنت البورتلاندى طريقتان رئيسيتان هما الطريقة الجافة والطريقة الرطبة .

فى الطريقة الجافة تكون المواد الكلسية والطينية جافة فى جميع مراحل الصناعة أو على الاقل بعد عملية التكسير وقبل الخلط . أما الطريقة الرطبة فتستعمل فى حالة وجود خامات رخوة أو تحتوى على بعض الرطوبة وفيها تخلط الخامات خلطا صحيحا جيدا مع كمية مناسبة من الماء تتراوح بين ٣٢ ٪ إلى ٤٠ ٪ من الخليط الخام . ومن الجدير بالذكر أن الاتجاه الحديث منذ سنة ١٩٢٧ يدعو إلى استعمال الطريقة الرطبة وتستعمل فعلا جميع المصانع فى مصر هذه الطريقة .

والنقط التالية توضع فى الاعتبار عند اختيار أى من طريقتى صناعة الأسمنت :

١ ــ نسبة الماء بالخامات :

تصبح الطريقة الرطبة هى المفضلة عندما تكون نسبة الرطوبة فى الخامات عالية وفى هذه الحالة يستغنى عن جزء كبير من الماء فى احدى مراحل صناعة الأسمنت البورتلاندى.

٢ ــ مورد المياه :

تستعمل الطريقة الرطبة فى حالة وجود المياه بكمية وافرة والتى تتراوح بين ٣٢ ٪ إلى ٤٠ ٪ من وزن العجينة قبل دخولها فى الأفران .

٣ ــ تكاليف الوقود :

تفضل الطريقة الجافة فى حالة ارتفاع سعر الوقود فتتوافر بذلك كمية كبيرة من الوقود الذى يستهلك فى تبخير الماء .

٤ ــ فقد الأتربة :

عند استعمال الطريقة الرطبة تقل نسبة الفاقد من الأتربة عما لو استعملت الطريقة الجافة .

٥ ــ التجانس :

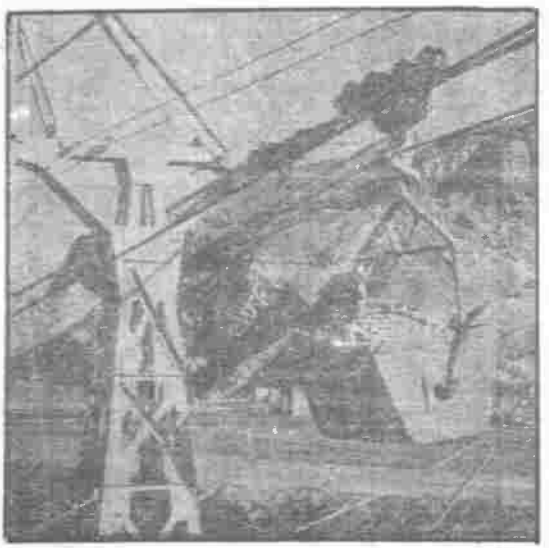
عند استعمال الطريقة الرطبة يمكن الحصول بسهولة على تجانس فى المواد الداخلة للفرن .

وهناك حالات تضطر القائمين على صناعة الأسمنت إلى استعمال الطريقة الجافة وذلك عند ما تكون المواد الخام صلدة لدرجة أنها لا تتفتت بالماء كما تستعمل هذه الطريقة أيضا فى البلاد الباردة جدا حيث يخشى على الماء من التجمد فى الخليط . كذلك فى حالة شحة الماء اللازم لعملية الخلط كما فى بلاد الجزيرة العربية .

وبالرغم من ذلك يتجه القائمون على صناعة الأسمنت إلى استعمال الطريقة الرطبة وذلك لسهولة التحكم فى العجينة ومراقبة خليط المواد الأولية .

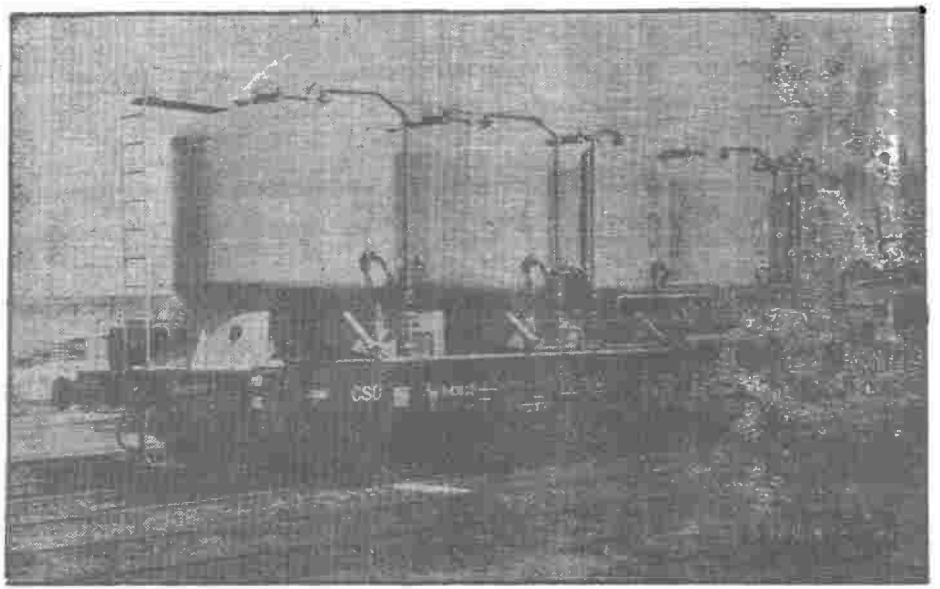
ويمكن تلخيص خطوات صناعة الأسمنت بالطريقة الرطبة فيما يلى :

- تستخرج المواد الأولية من المحجر
- تنقل إلى المصانع بطرق حديثة اقتصادية مثل النقل بالسلك الهوائى (التلفريك) كما هو مبين بالشكل رقم (٢ — ٣)

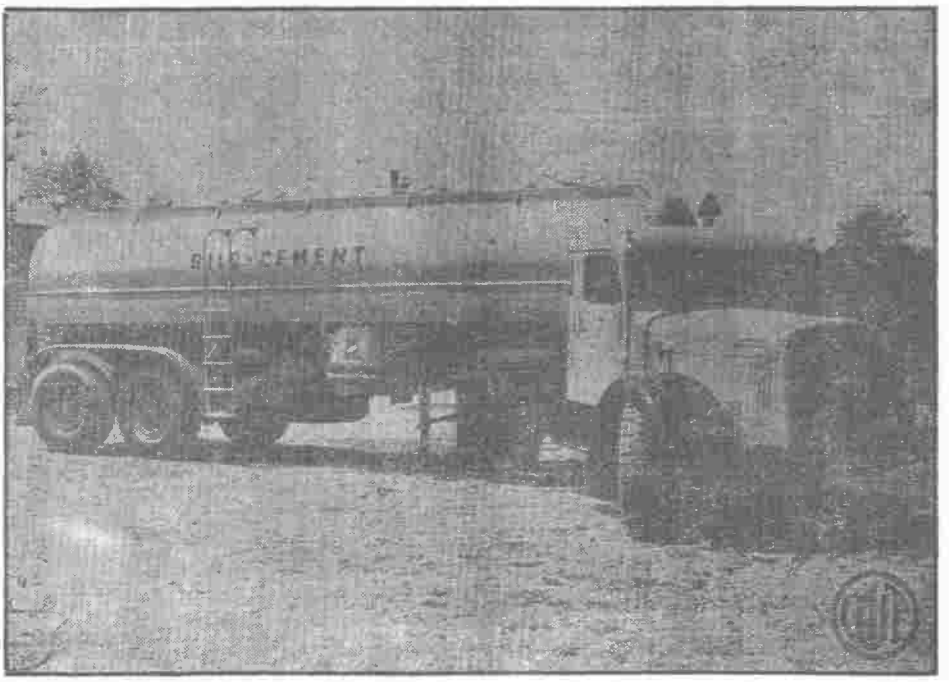


شكل رقم (٢ — ٣) نقل المواد الأولية للاسمنت من المحجر إلى المصنع بالسلك الهوائى (التلفريك)

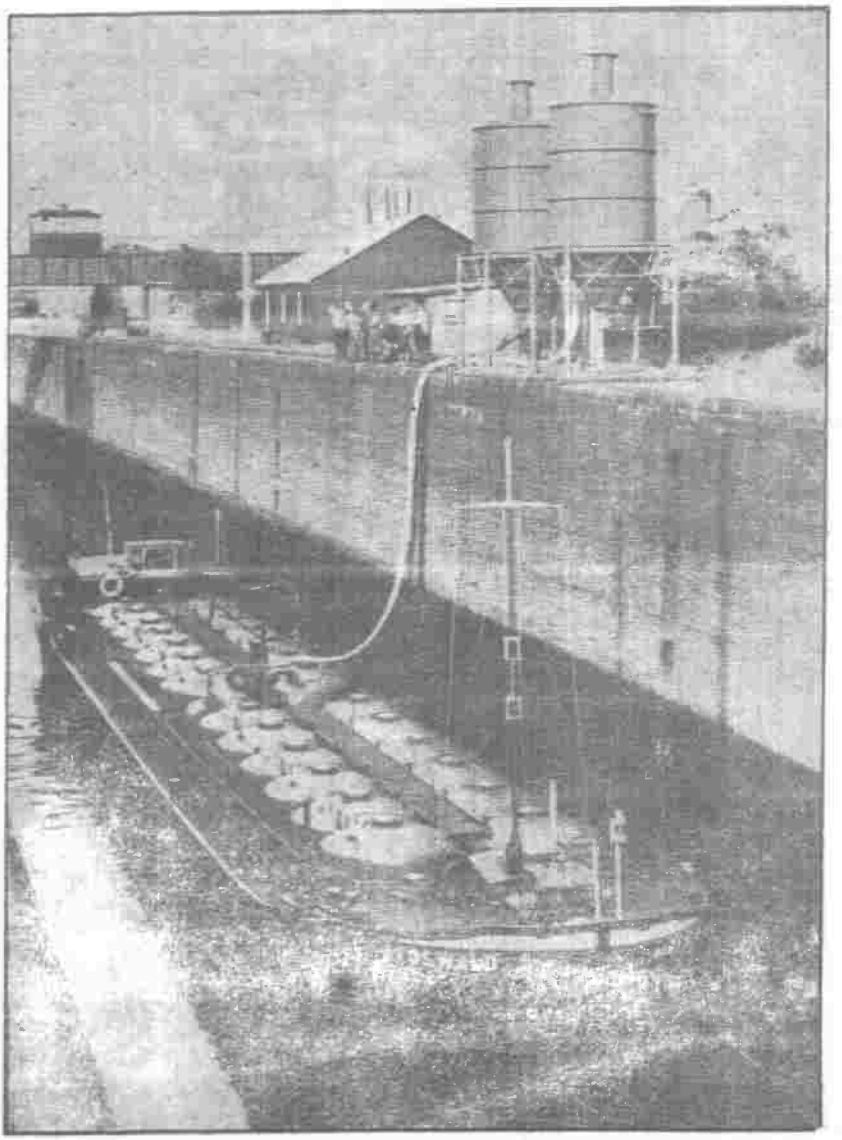
- تفتت المواد الأولية فى الكسارات ثم تطحن وهى مبتلة فى طواحين كرات (Ball Mills)
- يخلط مطحون المواد الأولية بنسب معينة معلومة لتشكل عجينة توضع فى صهاريج تسمى صهاريج العجينة (Slurry Tanks) . ويتم التأكد من دقة نسب الخلط المطلوبة عن طريق التحليل الكيميائى .
- تحرق العجينة فى الأفران الدوارة فتتحول إلى كلنكر ثم يطحن ناعما مع نسبة قليله من الجبس ليصير أسمنتا .
- يعبأ الأسمنت وينقل للاستهلاك المحلى والتصدير الخارجى .



شكل رقم (٢ ـ ٤) عربة سكة حديد لنقل الأسمنت السائب



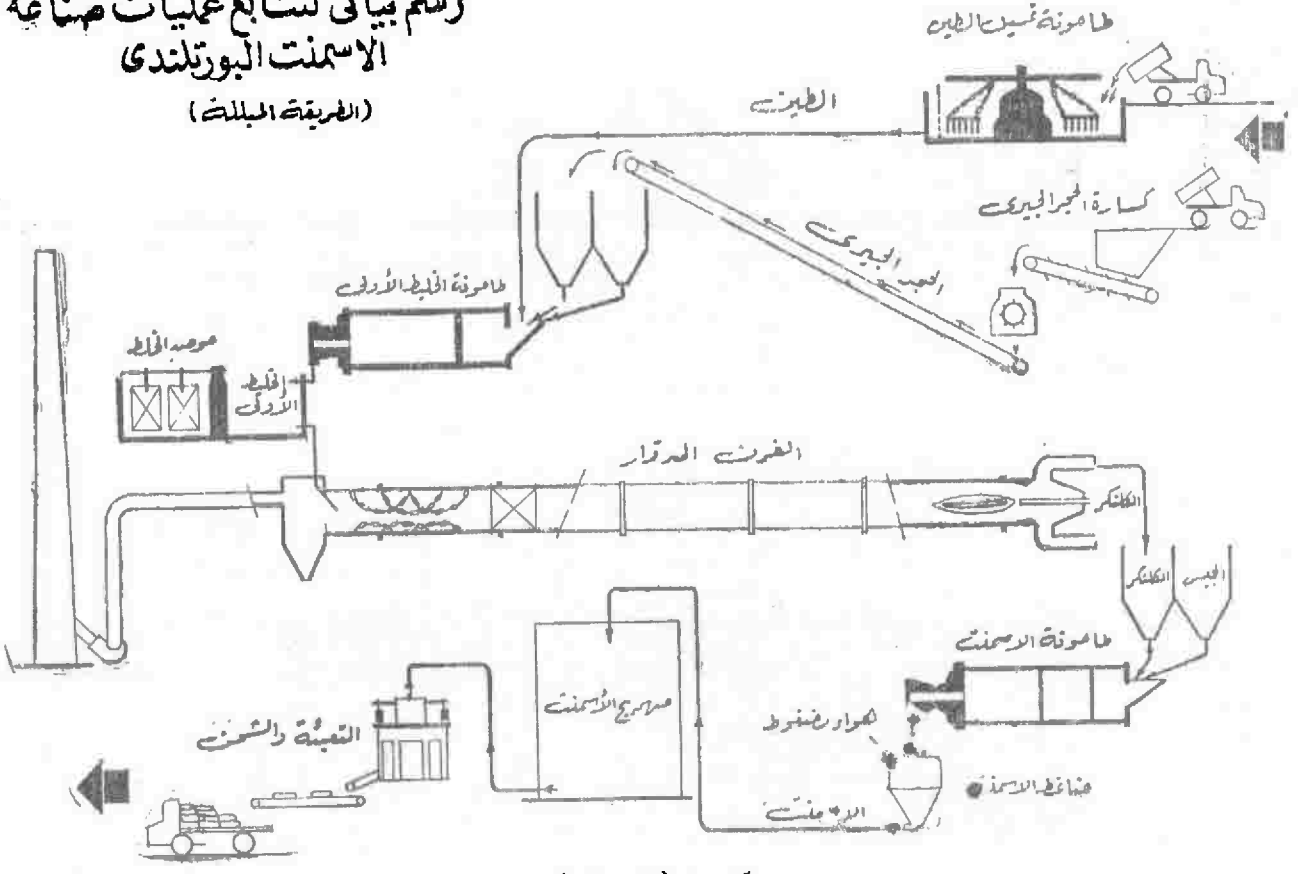
شكل رقم (٢ — ٥) سيارة نقل الأسمنت السائب



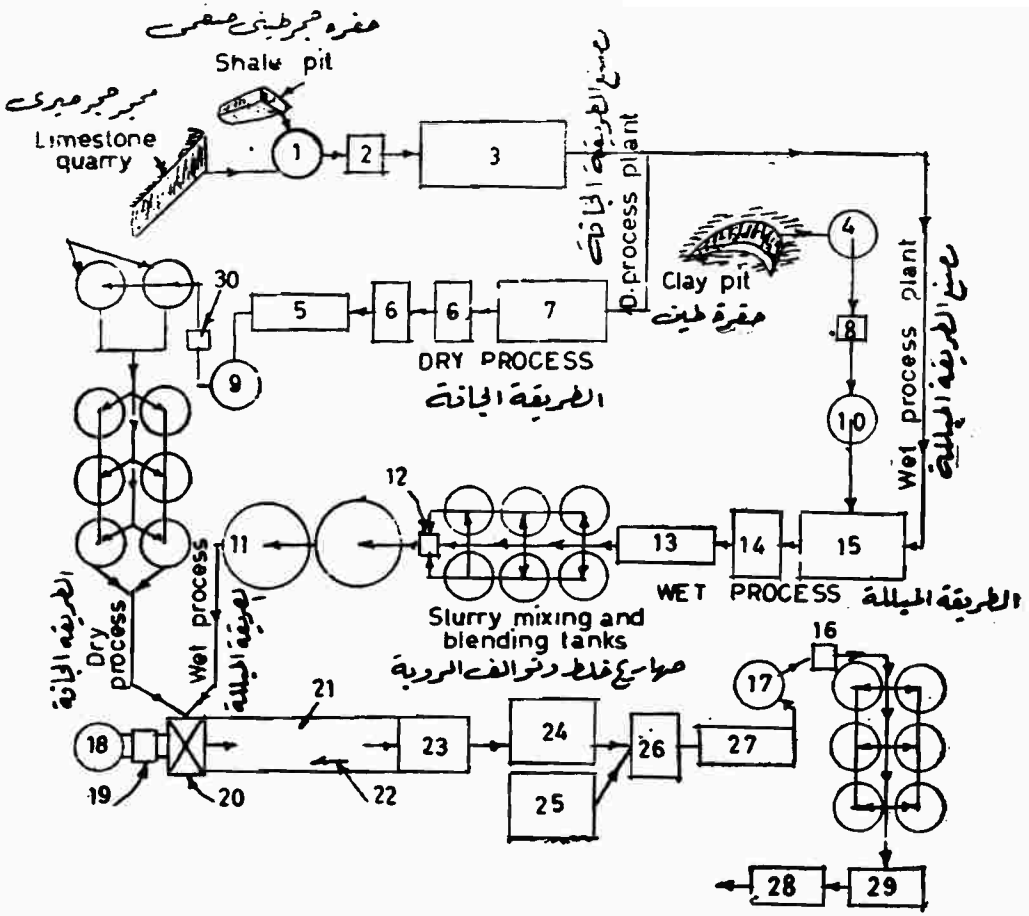
شكل رقم (٢ ـ ٦)
مركب نقل الأسمنت السائب

رسم بيانى لتتابع عمليات صناعة الاسمنت البورتلندى

(الطريقة المبللة)



شكل رقم (٢ - ٧)



1. Crusher كسارة
2. Hammar mill طاحونة المطارق
3. Raw material storage مخزن المادة الخام
4. Clay wash mill طاحونة غسل الطين
5. Tube mill طاحونة الأنبوبية
6. Grinding mill طاحونة الطحن
7. Clay and rock dryer مجفف الطين والصخر
8. Slurry pump مضخة الرودية
9. Air separator فاصل الهواء
10. Clay slurry storage basin حوض تخزين رودية الطين
11. Slurry storage basins أحواض تخزين الرودية
12. Slurry pump مضخة الرودية
13. Tube mill طاحونة الأنبوبية
14. Ball mill طاحونة الكرة
15. Proportioning equipment معدات العمل التناسبي
15. Cement pump مضخة الإسمنت
17. Air separator فاصل الهواء
18. Stack مدخنة
19. Dust collector مجمع الأتربة
20. Kiln feeder مغذي الفرن
21. Rotary kiln الفرن الدوار
22. Flow of hot gases مسار الغازات الحارة
23. Clinker cooler مبرد الكلنكر
24 Clinker storage مخزن الكلنكر
25. Gypsum storage مخزن الجبس
26. Ball mill طاحونة الكرة
27 Tube mill طاحونة الأنبوبية
28. Shipping الشحن
29. Packing التعبئة
30. Pneumatic pump مضخة بالهواء المضغوط

شكل رقم (٢ - ٨)

رابعا : مكونات الاسمنت البورتلاندى العادى وخواصه الكيميائية

عند خلط وحرق مكونات الأسمنت الأساسية : الجير والسليكات والألومنيا وأكسيد الحديد فإن الكلنكر الناتج بعد عملية الحرق يحتوى على أربعة مركبات رئيسية تختلط مع بعضها البعض بنسب مختلفة وهى:

سليكات ثلاثى الكالسيوم (٤٠—٥٠٪) (2 C S) - 3 CaO. SiO_2

سليكات ثنائى الكالسيوم (٢٠—٣٠٪) (2 C S) - 2CaO. SiO_2

ألومينات ثلاثى الكالسيوم (٩ — ١١٪) (3 C A) - 3 CaO · Al_2O_3

ألومينا حديد رباعى الكالسيوم (٩ — ١١٪) (4 C A F) - 4CaO· Al_2O_3 ·Fe_2O_3

ويحتوى الأسمنت البورتلاندى بالإضافة إلى ذلك على كميات صغيرة من المكونات الآتية :

جير غير متحد — ماجنزيا غير متحدة — كبريتات كالسيوم — قلويات (صودا وبوتاس) — ماء — مواد غير ذائبة . وقد أظهر الفحص الميكروسكوبى للكلنكر أن له ثلاثة مكونات رئيسية وهى الأليت والبليت والسيليت . والأليت هو العنصر الذى يعطى القوة للاسمنت ويتكون أساسياً من خليط صلد من سليكات ثلاثى الكالسيوم مع كمية غير محددة من ألومينا ثلاثى الكالسيوم . والبليت ويتكون من خليط من بيتا سليكات ثنائى الكالسيوم مع مركب حديد غير معروف . والسيليت وهو مركب معقد يحتوى على باقى الأكاسيد ولكنه أساسياً يحتوى على ألومينا حديد رباعى الكالسيوم وألومينا ثلاثى الكالسيوم إن وجدت . وعند التبريد السريع للكلنكر لا يجد السيليت الوقت الكافى للتبلور فينزل كالزجاج . أما نسبة الأليت فتزداد بازدياد نسبة الجير . ولما كان الأليت يمثل عنصر القوة فى الأسمنت فإن زيادة الجير بالنسبة للسليكات والألومينا مع الحديد تزيد قوة الأسمنت . وتتراوح نسبة الأليت فى الأسمنت من ٦٠ إلى ٧٠ ٪ ويكون السيليت فى حالة سائلة عند درجة الحرارة العليا بالفرن وفى هذا السائل يتكون الأليت ويخرج منه متبلوراً . ويذيب السائل المنصهر كمية من الجير غير المتحد والمغنسيوم غير المتحدة . فإذا برد الكلنكر بسرعة بعد مغادرته منطقة الحريق فان هذه المواد المذابة تبقى فى الزجاج المتكون وقد وجد أن تلك المواد فى هذه الحالة لا تسبب عدم الثبات للاسمنت المتكون

منها لذلك فإن التبريد الفجائى مفضل جداً للكلنكر بعد مغادرته منطقة الحريق .

ويبين الآتى مثال تحليل عينة من الأسمنت البورتلاندى :

جير	كا أ ٪ ٦٤,٥٧	سليكا	س أ٢ ٪ ٢١,٨٤
ألومينا	م أ٢ ٪ ٢,٩٥	أكسيد الحديد	ح أ٢ ٪ ٢,٩٥
ماغنزيا	مج أ ٪ ٠,٩٧	انهيدريت الكبريت	كب أ٣ ٪ ١,٠٩
ماء وثانى أكسيد الكربون	٠,٩٨ ٪	قلويات وفاقد فى الوزن	٠,٢٨ ٪
مخلفات غير ذائبة	٠,٥٥ ٪		

ويحدد معامل تشبع الجير والذى يساوى :

أكسيد الكالسيوم (كا أ) — ٠,٧ ثالث أكسيد الكبريت (كب أ٣)

٢,٨ ثانى أكسيد السليكون(س أ٢) + ١,٢ ثالث أكسيد الألمنيوم (لو٢ أ٣) + ٠,٦٥ أكسيد الحديد (ح٢ أ٣)

نسبة الجير إلى الطين اللازمة للأسمنت الصالح (معامل التشبع لا يزيد عن ١٫٠٢ ولا يقل عن ٠٫٦٦) حيث أنه إذا زادت كمية الجير فتسبب الكلنكر مبكرا أثناء التسخين مما يمنع الطين والألومينا (التى تحتاج لدرجة حرارة عالية للانصهار) من تمام التفاعل والاتحاد .

وإذا نظرنا إلى مكونات الأسمنت كل على حدة فإننا نجد ما يأتى :

الجير : يكون تقريباً ثلثى الأسمنت ونسبته تؤثر إلى حد كبير فى خواصه وزيادة الجير عن الوزن المفروض تتسبب فى عدم ثبات الأسمنت . وكميـــة الجير التى تتحد نظرياً بالعناصر الحمضية تحددها المعادله التالية :

النسبة المئوية لأكسيد الكالسيوم (نهاية عظمى = ٢,٨ × سليكا ٪ + ١,٢ × ألومينا ٪ + ٠,٦٥ × أكسيد الحديد ٪) .

السليكا : تكون حوالى الخمس ، الأمينا ربع من الأسمنت . وزيادة نسبة السليكا مع انخفاض نسبة الألومينا يعطينا أسمنتاً بطىء الشك عالى المقاومة . ويساعد فى مقاومته لأى تأثيرات كيماوية . ولكن إذا زادت نسبة الألومينا وقلت نسبة السليكا فإن الأسمنت يصبح سريع الشك عالى المقاومه .

$$\text{ومعامل السليكا} = \frac{\text{النسبة المئوية للسليكا}}{\text{النسبة المئوية للالومينا} + \text{النسبة المئوية لأكسيد الحديد}}$$

ومعامل السليكا الذى يزيد على ٢,٧ يجعلنا نحصل على أسمنت بطىء التصلد وإذا لم تتوزع السليكا بين المكونات فإننا نحصل على أسمنت غير ثابت وضعيف وذلك لعدم تكامل الاتحاد بين الجير والسليكا أثناء الحرق . والمواد التى تحوى معامل سليكا عالى تحتاج لدرجة حرارة كبيرة ، وبذلك تستعمل وقوداً أكثر وتآكلا واستهلاكاً أكبر للطوب الحرارى المبطن . والمواد التى تحتوى على معامل سليكا صغير مثلا أقل من ٢,٣ تكون أسهل فى حرقها ولكنها تكون حلقات من الكلنكر ربما تسبب فى صعوبات كثيرة بالفرن الدوار .

أكسيد الحديد : يسبب اللون الرمادى للأسمنت ويجب ألا تقل نسبة الألومينا إلى أكسيد الحديد عن ٠,٦٦ .

الماغنيزيا : لا تزيد على ٤ ٪ من وزن الأسمنت . وأكسيد المغنسيوم مضر للاسمنت إذا زاد عن هذا الحد .

الكبريت : يحسب كانهيدريت الكبريت وهو محدود بنسبة ٢,٧٥ ٪ وهى غالبا كبريتات الكالسيوم المضافة للتحكم فى الشك .

المواد غير الذائبة : يجب ألا تزيد عن ١ ٪ وهى دائماً تكون السليكات الخاملة .

القلويات : وهى غالبا تطير مع الغازات المتصاعدة فى عملية الحريق ، وتوجد بكميات قليلة فى الأسمنت ويجب ألا تزيد القلويات وإلا كانت تفاعلاتها مع الاضافات الأخرى سببا فى خطر الانهيار بفعل التفاعل القلوى للركام فى الخرسانة .

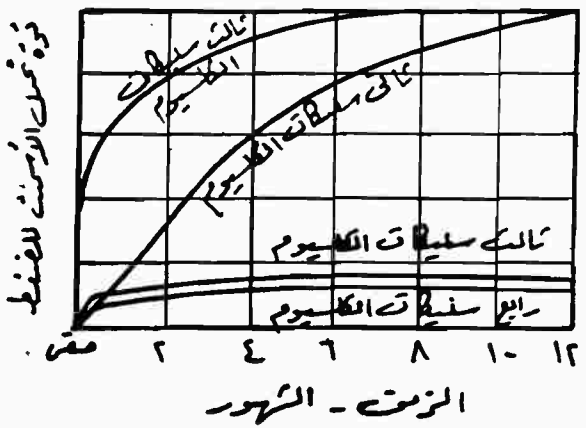
الفقد بالحريق : لا يزيد على ٣٪ فى البلاد المعتدلة الجو أو ٤ ٪ فى البلاد الحارة . وهذا يعطينا الماء وثانى أكسيد الكربون .

سليكات ثلاثى الكالسيوم : عند إضافة الماء للأسمنت فإن سليكات ثلاثى الكالسيوم تتميأ بسرعة وتتسبب فى وجود كمية كبيرة من الحرارة عند التفاعل .

$$3\,Ca\,O.\,SiO_2 + H_2O \rightarrow 2\,Ca\,O.\,SiO_2 \cdot X\,H_2\,O + Ca(OH)_2$$

وينفصل جزىء من أكسيد الكالسيوم وتتكون هيدروكسيد كالسيوم متبلورة ، و($3\,Ca\,O.\,SiO_2\,XH_2\,O$) سليكات الكالسيوم وهذا المركب جيلاتينى، وله فضل

المقاومة المبكرة للاسمنت ، وتصاعد الحرارة . وسليكات ثلاثى الكالسيوم له خاصية اسمنتية جيدة ، وله تأثير فى مقاومة الخرسانة خصوصا فى الأربعة عشر يوما الأولى كما فى شكل رقم (٢ — ٩) .



شكل رقم (٢ — ٩)
قوة الضغط لمكونات الأسمنت

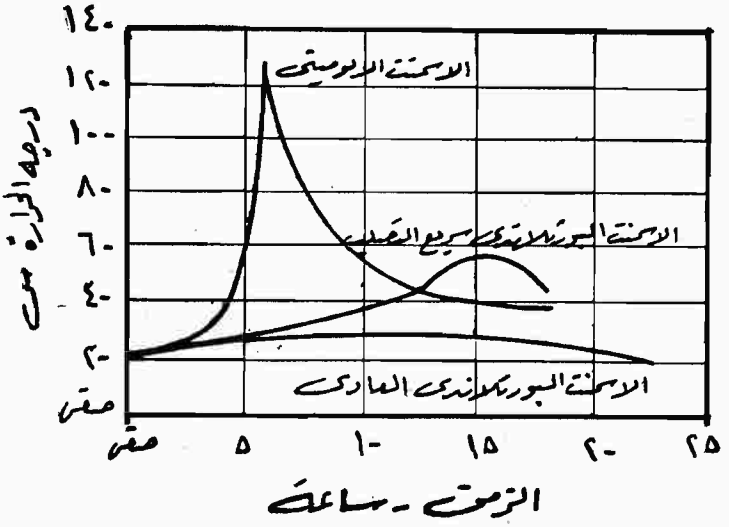
سليكات ثنائى الكالسيوم يتفاعل مع الماء ببطء وتتصاعد الحرارة ببطء . وهو المسئول عن ازدياد المقاومة فيما بين ١٤ — ٢٨ يوما وفيما بعد . والاسمنت المحتوى على كميات عالية من سليكات ثنائى الكالسيوم له مقاومة كبيرة للمؤثرات الكيميائية والانكماش بالجفاف ولذلك فهو من أهم عوامل ثبات الأسمنت .

ألومينات ثلاثى الكالسيوم : يتميأ بسرعة مع الماء خصوصا فى اليوم الأول ويصحب التفاعل تصاعد حرارة عالية ، ويشك المزيج على الفور وألومينات ثلاثى الكالسيوم هو الذى يسبب النصلد الأول . ولكنه لا يتدخل كثيراً فى القوة ومقاومته ضعيفة للتأثيرات الكيميائية وعلى الأخص الكبريتات المذابة فى الماء الأرضى . ويسبب التشققات للتغير فى الحجم ، وخاصيته الأسمنتية ضعيفة .

ألومينات حديد رباعى الكالسيوم : يتميأ ببطء ، وليس له خاصية أسمنتية أو تأثير على المقاومة أو أى خواص للاسمنت المتصلد .

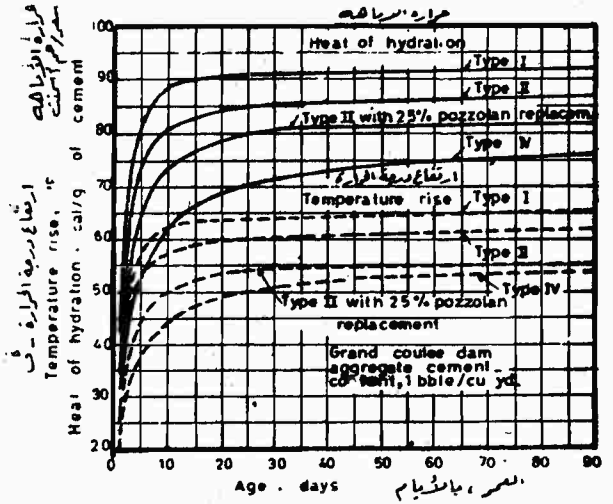
حرارة الإماهة : (Heat of Hydration) .

التفاعلات الكيميائية التى تحدث عندما يشك الأسمنت ويتصلد يصحبها دائماً ارتفاع فى درجة الحرارة ففى الأسمنت البورتلاندى العادى يحدث ارتفاع فى الحرارة يبلغ ١٠ °م . وفى الأسمنت سريع التصلد يبلغ لارتفاع درجة الحرارة حوالى ٤٠°م وفى الأسمنت الألومينى يكون الارتفاع فى درجة الحرارة حوالى ١٠٠°م كما يتبين من الشكل رقم (٢ — ١٠) .



شكل رقم (٢ــ١٠) حرارة الإماهة لأنواع من الأسمنت

ويحدث دائما ارتفاع درجات الحرارة عند الشك فى الساعات الأولى ويبلغ ارتفاع حرارة الإماهة للاسمنت البورتلاندى العادى ٧٠ سعر الكل جرام فى ٧ أيام ويصل إلى ٨٠ سعرا فى ٢٨ يوما ، شكل رقم (٢ – ١١)، (٢ – ١٢) ويجب الاحتياط عند العمل فى المنشآت الكتلية بألا يستعمل الأسمنت

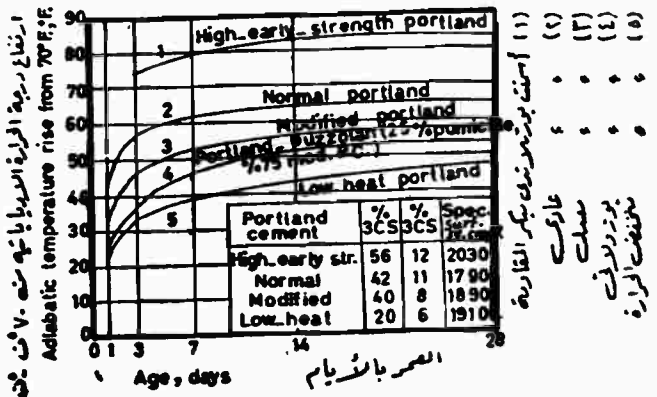


PORTLAND POZZOLAN CEMENT GENERATES LESS HEAT THAN TYPE I OR II PORTLAND CEMENT AND AT SLOWER RATES, WHICH ARE MORE FAVORABLE TO HEAT REMOVAL BY ARTIFICIAL COOLING

الأسمنت البورتلاندى البوزولانى يولد حرارة أقل من الأسمنت البورتلاندى طراز I أو II وبمعدل أقل وهذا يفضل بدرجة أكثر من إزالة الحرارة بالتبريد الصناعى

شكل رقم (٢ ــ ١١)

بكميات كبيرة كما فى السدود والخزانات لأن ارتفاع درجة الحرارة داخل هذه الكتل الضخمة وما يصحبها من برودة على السطوح الخارجية ربما يسبب تشققات ولهذا يفضل استعمال الأسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة . ويبين الشكل رقم (٢ — ١٣) الارتفاع فى درجة حرارة الإماهة مع الزمن لأحد السدود باستخدام الأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة .



RELATIVE EFFECT OF TYPE OF CEMENT ON ADIABATIC TEPERATURE RISE OF CONCRETE

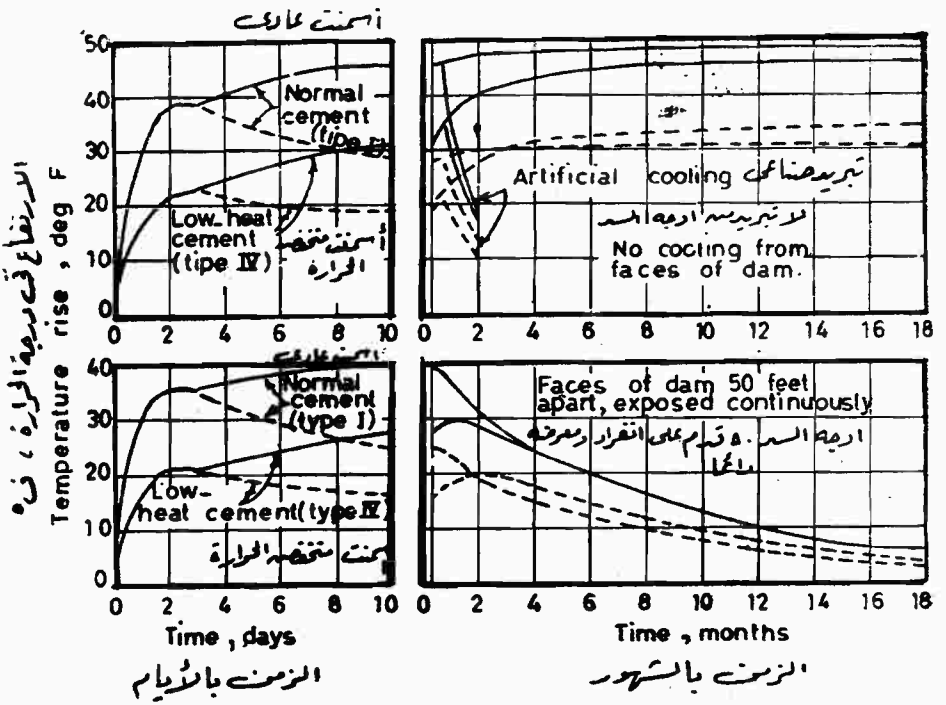
التأثير النسبى لنوع الاسمنت على أرتفاع درجة الحرارة الأدياباتية للخرسانة

شكل رقم (٢ ـ ١٢)

خامسا : الخواص الطبيعية والميكانيكية للاسمنت البورتلاندى

هناك بيانات ومعلومات كثيرة عن الخواص القياسية للاسمنت البورتلاندى العادى من الناحيتين الطبيعية والميكانيكية وكذلك طرق اختبار هذه الخواص . وتعتبر الخواص القياسية وطرق اختبارها أساساً ومقياسا يعتمد عليه كلية فى قبول هذا الاسمنت للاستعمال فى أشكاله وصوره المتعددة . كما يعتمد على هذه الأسس فى تطور الأسمنت حتى يفى باحتياجات وظروف الأعمال الإنشائية المختلفة التى يدخل فيها الأسمنت كعنصر هام فى موادها .

ويبنى التقسيم المنطقى لخواص الأسمنت البورتلاندى على طرق الاختبار على أن نأخذ فى الاعتبار الحالة التى يكون عليها الاسمنت أثناء إجراء عملية الاختبار .



شكل رقم (٢-١٣) الارتفاع فى درجة حرارة الإماهة مع الزمن

وعلى سبيل المثال نجد ان هناك حواص محددة لمسحوق الأسمنت الجاف وخواص أخرى لعجينة الأسمنت (أى مخلوط الأسمنت والماء) . وتوجد أيضا خواص لمونة الاسمنت (أى المخلوط المكون من الاسمنت والماء والرمل) . أما الصورة الأخرى لخواص الاسمنت فعندما يخلط الاسمنت والماء الرمل والزلط فيما يعرف باسم الخرسانة . وسنتناول بالدراسة حالات مسحوق الأسمنت الجاف وعجينة الأسمنت ومونة الاسمنت أما خواص الاسمنت فى الخرسانة فسنناقشه فى غير هذا المكان .

(ا) خواص مبنية على اختبار مسحوق الأسمنت :

١ — نعومة الاسمنت :

— بطريقة المنخل رقم ١٧٠ — بطريقة المنخل رقم ٢٠٠

— بطريقة المساحة النوعية للسطح باستعمال جهاز نفجر أو أى جهاز آخر مثل جهاز بلين .

٢ — الوزن النوعى .

٣ — الوزن الحجمى .

(ب) خواص مبنية على اختبار عجينة الأسمنت :

١ — إيجاد نسبة الماء لتشكيل العجينة ذات القوام القياسى .

٢ — زمن الشك الابتدائى والنهائى بواسطة جهاز فيكات (Vicat) .

٣ — الثبات بواسطة جهاز لوشاتلييه (Le chatelier) .

(حـ) خواص مبنية على اختبار مونة الأسمنت :

١ — إجهاد الضغط لمونة الأسمنت باختبار مكعبات مسطح كل منها ٥٠سم٢

٢ — إجهاد الشد لطوبيات من مونة الأسمنت .

٣ — زمن الشك لمونة الأسمنت .

٤ — محتوى الهواء فى مونة الأسمنت .

٥ — نضح مونة الأسمنت .

وبالإضافة إلى هذه الخواص والتى تخضع لطرق اختبارات قياسية نجد خواص أخرى لم تشملها هذه المواصفات ولكن هناك اتفاق عام بين المتخصصين فى هذا الفرع على وجوب تحديد هذا الخواص وبطرقهم الخاصة .مثال ذلك ، مقاومة مونة الأسمنت للكبريت ومقاومتها لتوالى الارتفاع والانخفاض فى درجات الحرارة وتأثير فاعلية الركام القلوى على مونة الأسمنت .

وفيما يلى النقاط الرئيسية لخواص الأسمنت البورتلاندى العادى وهى :

(ا) نعومة الأسمنت . (ب) الكثافة النوعية للأسمنت . (حـ) الشك والتصلد فى الأسمنت البورتلاندى. (د) مقاومة الأسنت . (هـ) ثبات حجم الأسمنت .

(ا) نعومة الأسمنت :

يعد مقاس حبيبات الأسمنت عاملا هاماً يؤثر على مدى تفاعل الأسمنت مع الماء وذلك لأن مجموع مساحة السطوح لوزن معين من عينة من الأسمنت ذات درجة نعومة معينة تكون أكبر من مجموع مساحة السطوح لنفس الوزن من هذا الأسمنت ذى درجة نعومة أقل . وعلى ذلك فمعدل تفاعل الماء مع عينة الأسمنت الناعمة يكون

اكبر من هذا المعدل بالنسبة للاسمنت ذى النعومة الأقل . هذا بالإضافة إلى أن عملية التصلد للاسمنت الناعم تكون أسرع منها فى الاسمنت الخشن. وأبعد من ذلك فإن إتمام عملية التفاعل مع الماء تتوقف إلى حد كبير على حجم حبيبات الاسمنت فالقلب الداخلى (Core) للحبيبات الخشنة من الاسمنت قد تأخذ سنوات للتفاعل مع الماء تحت الظروف العملية وقد يصل الأمر إلى أن هذه الحبيبات الخشنة قد لا تتفاعل إطلاقا مع الماء .

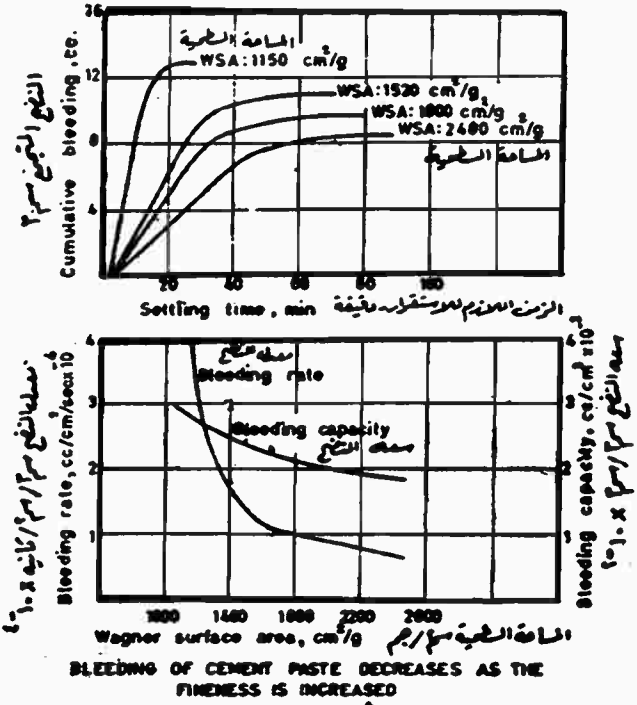
ومن هذا نرى أن نعومة الاسمنت تؤثر على الخواص الطبيعية للمادة الناتجة ، فكلما كانت حبيبات الاسمنت ناعمة كلما أمكنها تغطية المواد الخشنة من زلط ورمال ومن ثم تتصف الخرسانة الناتجة عن ذلك بالقوة وزيادة على ذلك فإن نعومة الاسمنت تعمل على سرعة تفاعل حبيباته مع الماء فتكون ظروف تكوين البلورات الاسمنتية متقدمة وسريعة وحينئذ تزيد قيمة المقاومة النهائيه للناتج بالإضافة إلى ما ينتج عن سرعة تكوين البلورات من الحصول على المقاومة المبكرة .

والاتجاه الحديث فى السنين القليلة الماضية فى إنتاج الاسمنت هو طحن الاسمنت إلى درجة كبيرة من النعومة للحصول على أكبر قوة فى وقت متقدم . ومن التجارب العديدة وجد أن الحبيبات ذات نعومة تصل إلى أن تمر من منخل ١٧٠ (٠,٠٩ مم) هى التى تتفاعل مع الماء لتعطى قوة كبيرة إلى الخرسانة .

ونعومة الاسمنت تؤثر على ثبات حجمه وذلك لأن تمدد بعض العناصر الموجودة فى الحبيبات الكبيرة لن تكون تحت تأثير التغيرات الجوية التى تعمل على تكملة تفاعل الحبيبات الناعمة التى تتصف بالثبات . وكذلك تؤثر نعومة الطحن إلى حد كبير على قابلية تشغيل الخرسانة فدرجة النعومة الكبيرة تحسن من تماسك خلطة الخرسانة وتعمل على إنقاص كمية الماء التى تنفصل على سطح الخلطة والتى تعرف باسم النضح (Bleeding) فتقلل نعومة الاسمنت من هذه الظاهرة كما يتضح من الشكل رقم (٢ — ١١٤ ، ب).

وقد نصت المواصفات الخاصة بالاسمنت البورتلاندى العادى لعدة سنوات مضت لقياس درجة نعومة الاسمنت بتحديد نسبة المتبقى من حبيبات الاسمنت فوق منخل رقم ١٧٠ بألا تزيد عن ١٠٪ (المواصفات القياسية المصرية والبريطانية)

أو أقل، وبالنسبة للتبقى على منخل رقم ٢٠٠ لا تتعدى نسبة ٢٢ ٪ (مواصفات الجمعية الامريكية للاختبار والمواد A. S. T. M.) وحيث أن النسب الصغيرة المتبقية فوق هذه المناخل ليس لها ارتباط كبير بالتوزيع الحجمى لحبيبات الاسمنت الناعمة فقد ألغيت هذه الطريقة التقليدية لتحديد درجة نعومة الاسمنت البورتلاندى العادى ولكنها تستعمل كطريقة



BLEEDING OF CEMENT PASTE DECREASES AS THE FINENESS IS INCREASED

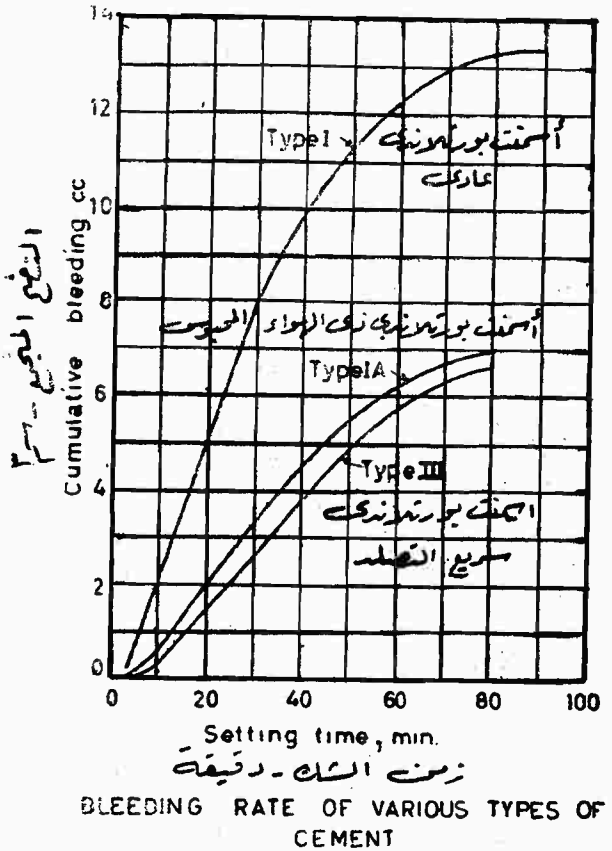
يقل نضح عجينة الأسمنت بزيادة درجة النعومة

شكل رقم (٢ ـ ١٤ «أ»)

لتحديد درجة النعومة باستخدام المناخل فى بعض أنواع الاسمنتات الأخرى .

وفى السنين الحديثة ومع تقدم طرق الاختبار فقد أصبح من المعتاد معرفة درجة النعومة فى الاسمنت بواسطة المساحة النوعية السطح وذلك بحساب مجموع السطوح لحبيبات بالسنتيمتر المربع لجرام الاسمنت . وكلما زادت درجة نعومة الاسمنت زادت نسبة المساحة النوعية السطح وبالرغم من أن المساحة النوعية السطح المحسوبة تعتبر تقريبية بالنسبة لمساحة السطح الحقيقى فانه قد ظهرت كفائدة استخدام هذه الطريقة لقياس درجة النعومة . وقد أمكن الحصول على علاقة ظاهرة بين المساحة النوعية السطح وخواص الاسمنت فوجد أن هذه الخواص تتأثر إلى حد كبير بنعومة حبيبات الاسمنت .

وقد أوجدت الجمعية الامريكية للاختبار والمواد طريقة لاختبار درجة نعومه



BLEEDING RATE OF VARIOUS TYPES OF CEMENT

معدل النضح لأنواع مختلفه من الأسمنت

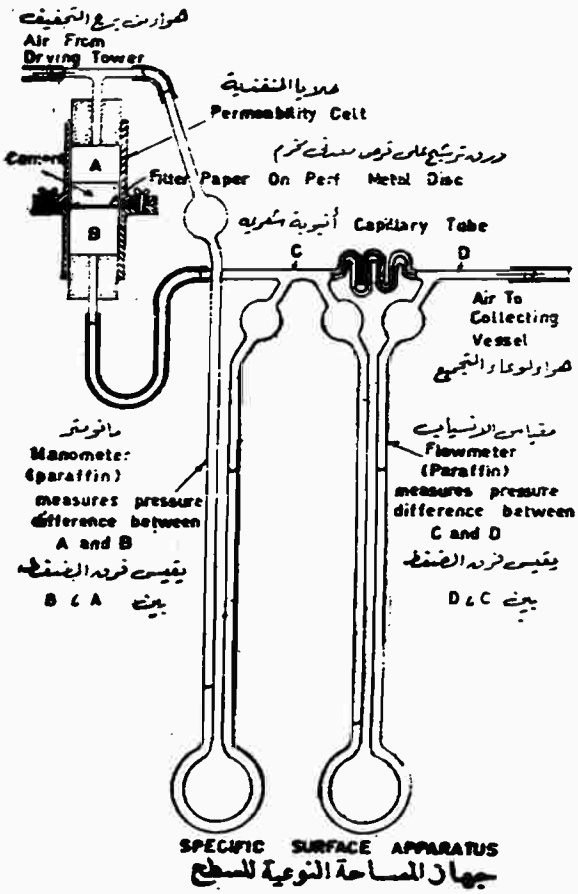
شكل رقم (٢ - ١٤ «ب»)

الأسمنت البورتلاندى العادى بطريقة فاجنر (Wagner Turbidimeter) والتى تتكون أساساً من مصدر للضوء ذى شدة ثابتة تضبط للحصول على أشعة متوازية تقريباً تمر فى كمية الأسمنت المراد قياسه عالقة فى كيروسين بحيث تنفذ هذه الأشعة إلى اللوح الحساس الخاص بجهاز التصوير الكهربائى ثم يقاس التيار الكهربائى الناتج من البطارية وعند اختبار الأسمنت توضع العينة فى « الكيروسين » وينفذ الضوء خلال المخلوط مؤثراً على جهاز التصوير الكهربائى وعندما يأخذ الأسمنت فى الهبوط تتزايد كمية الأشعة المارة خلال المخلوط وتسجل هذه الزيادة فى شدة الضوء وهذه القراءة المشار إليها مقياس لدرجة تركيز محلول الكيروسين بالأسمنت المعلق فيه وهى بدورها مقياس للمساحة السطحية لهذا الأسمنت المعلق .

وقد استحدثت طريقة أخرى فى انجلترا أسست على قابلية نفاذ الهواء خلال طبقة من الأسمنت . وقد عمل جهاز لذلك يطلق عليه اسم جهاز بلين (Blaine) شكل رقم (٢ — ١٥) ، لتحديد درجة نعومة الأسمنت ويتكون الجهاز من أدوات تدفع كمية معينة من الهواء خلال طبقة معدة من الأسمنت لها درجة مسامية معينة .

وقد اتخذ عدد وحجم الفراغات الموجودة فى هذه الطبقة ذات الفراغات المحددة كدالة على حجم الحبيبات وتعيين معدل مرور الهواء خلال هذه الطبقة من الأسمنت .

ويقاس مدى انسياب (Flow) الهواء خلال طبقة الأسمنت بمقياس الانسياب بتعيين فرق الضغط (ع٢) بين الأنبوبتين D،C ويقاس أيضا فرق الضغط (pressure) (ع١) بين الأنبوبتين B،A بواسطة المانومتر المبين بالشكل رقم(٢ — ١٥) ثم تحسب المساحة السطحية النوعية بالسنتيمتر المربع للجرام من المعادلة :



جهاز المساحة النوعية للسطح

شكل رقم (٢ — ١٥)
جهاز بلين لتعيين المساحة النوعية السطح للأسمنت

$$\text{المساحة النوعية السطحية للأسمنت} = ث \sqrt{\frac{ع_1}{ع_2}}$$

حيث :

ث عدد ثابت الجهاز .

وتعتبر هذه الطريقة أبسط وأسهل من طريقة فاجنر ، وتختلف النتائج التى يحصل عليها بكل من الطريقتين ولذلك تحدد طريقة الاختبار إلى جوار الرقم المحدد فى المواصفات.

وبالرغم من أن النسبة المئوية للمواد المارة من منخل رقم ١٧٠ أو منخل رقم ٢٠٠ لا تؤخذ كدليل للمساحة النوعية للسطح لأسمنت معين فقد أمكن الحصول على مقارنة بين درجة نعومة المناخل والمساحة النوعية للسطح كما هو موضح في الجدول رقم (٢ — ٤) المبين بعد .

كما يمكن تعيين المساحة السطحية للاسمنت بطريقة بلين باستخدام الجهاز المبين بالشكل رقم (٢ — ١٦) حيث يستعمل الوقت اللازم لمرور حجم معين من الهواء بعد تصحيح درجة الحرارة والكثافة ومعرفة الوزن النوعي لعينة الأسمنت لحساب نعومة الأسمنت بدلالة السطح النوعي بالسنتيمتر المربع في جرام واحد من الأسمنت . كما يتضح من الخطوات التالية :

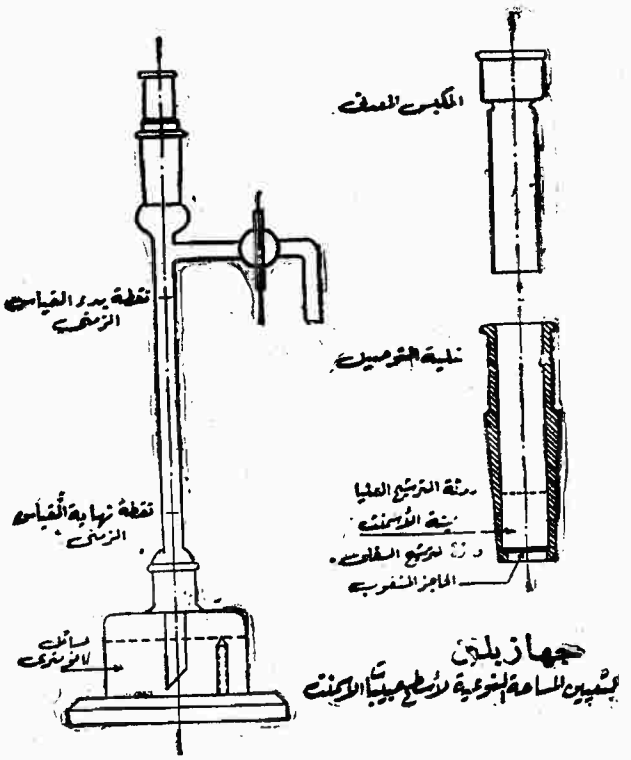
أولا: التحضير للاختبار:

١ — تعيين كثافة العينة .

٢ — يوضع السائل المانومتري في خزان الجهاز ليملأه بحيث يستوى السطح مع طرف الإبرة في حالة عدم وجود أنبوبة المانومتر .

٣ — يثبت الحاجز المثقوب في مكانه في خلية التوصيل .

٤ — توضع ورقة ترشيح رقم ٤٢ فوق الحاجز المثقوب .



شكل رقم (٢ — ١٦)

٥ — يوزن مقدار ٢,٧ جم من الأسمنت على ميزان حساس وتفرغ العينة بحذر داخل خلية التوصيل بمساعدة القمع الخاص بذلك مع الحرص لكيلا يتشتت أي جزء

من العينة على الجوانب .

٦ — يغطى الاسمنت بورقة ترشيح أخرى .

٧ — يضغط الاسمنت بالمكبس الخاص داخل الخلية ثم ينزع المكبس .

٨ — يراعى ألا يتشتت أى جزء من العينة فوق ورقة الترشيح العلوية وألا يلتصق من العينة شيء بأسفل المكبس وإلا فيعاد الاختبار .

ثانياً : القياس :

١ — يسحب المحلول المانومترى (بالشفط) إلى أعلى إلى ما فوق العلامة العليا بأنبوبة المانومتر بحوالى سنتيمترين . ثم يقفل الصنبور .

٢ — يعين الوقت الذى يستغرقه المحلول المانومترى للهبوط من العلامة العليا إلى العلامة السفلى .

٣ — تعين الحرارة إلى أقرب ١,٠° م .

٤ — تجرى التعيينات المذكورة مرتين ويحسب المتوسط .

٥ — يعاد الاختبار بأكمله على سبيل التكرار للحصول على أدق النتائج .

ثالثاً : طريقة الحساب :

١ — من المنحنى البيانى الأول يحدد الثابت (ث) المقابل لكثافة الاسمنت كما فى شكل رقم (٢ — ١٧) .

٢ — من المنحنى البيانى الثانى يحدد الثابت (ر) المقابل لحرارة الاختبار كما فى شكل رقم (٢ — ١٨) .

٣ — ثابت الجهاز (ج) يعطى عادة مع الجهاز أو يعين باستعمال مسحوق حبيباته ذات مساحة سطح قياسية .

٤ — يحسب الجذر التربيعى للزمن (ق) المعين بالاختبار .

٥ — تستنبط المساحة النوعية للسطح (ن) من العلاقة :

$$\text{ن} = \text{ث} \times \text{ر} \times \text{ج} \times \sqrt{\text{ق}}$$

رابعاً : الاحتياطات :

للحصول على نتائج سليمة لا بد من مراعاة ما يلى :

١ ــ النظافة التامة لخلية التوصيل وأنبوبة المانومتر والسائل المانومترى .

٢ ــ الدقة الكاملة لميزان الحساس وساعة الثوانى وتفاصيل الحساب .

٣ ــ العناية الفائقة فى ضبط مستوى سطح السائل المانومترى والوضع السليم لخلية التوصيل .

٤ ــ ثبات حرارة الاختبار وإلا فيعاد حساب المساحة السطحية لوحدة الوزن وذلك لكل تغيير فى درجة الحرارة ولهذا يجب ألا يتواجد بالقرب من الجهاز أى مصدر ضوئى مشع للحرارة .

خامساً : مثال عددى :

العينة المستعملة = أسمنت بورتلاندى عادى .

كثافة العينة = ٣,١٥ جم / سم^{٣}

ثابت الكثافة (ث) = ٢٦,٢

حرارة الغرفة = ٢٥,٠°م

ثابت الحرارة (ر) = ٦٨,٧

ثابت الجهاز (ج) = ٠,٢٥٥٠

الزمن المعين = ٣٢,٢ث

= ٣٢,٢ث

= ٣٢,٢ث

= ٣٢,٤ث

= ٣٢,٢ث

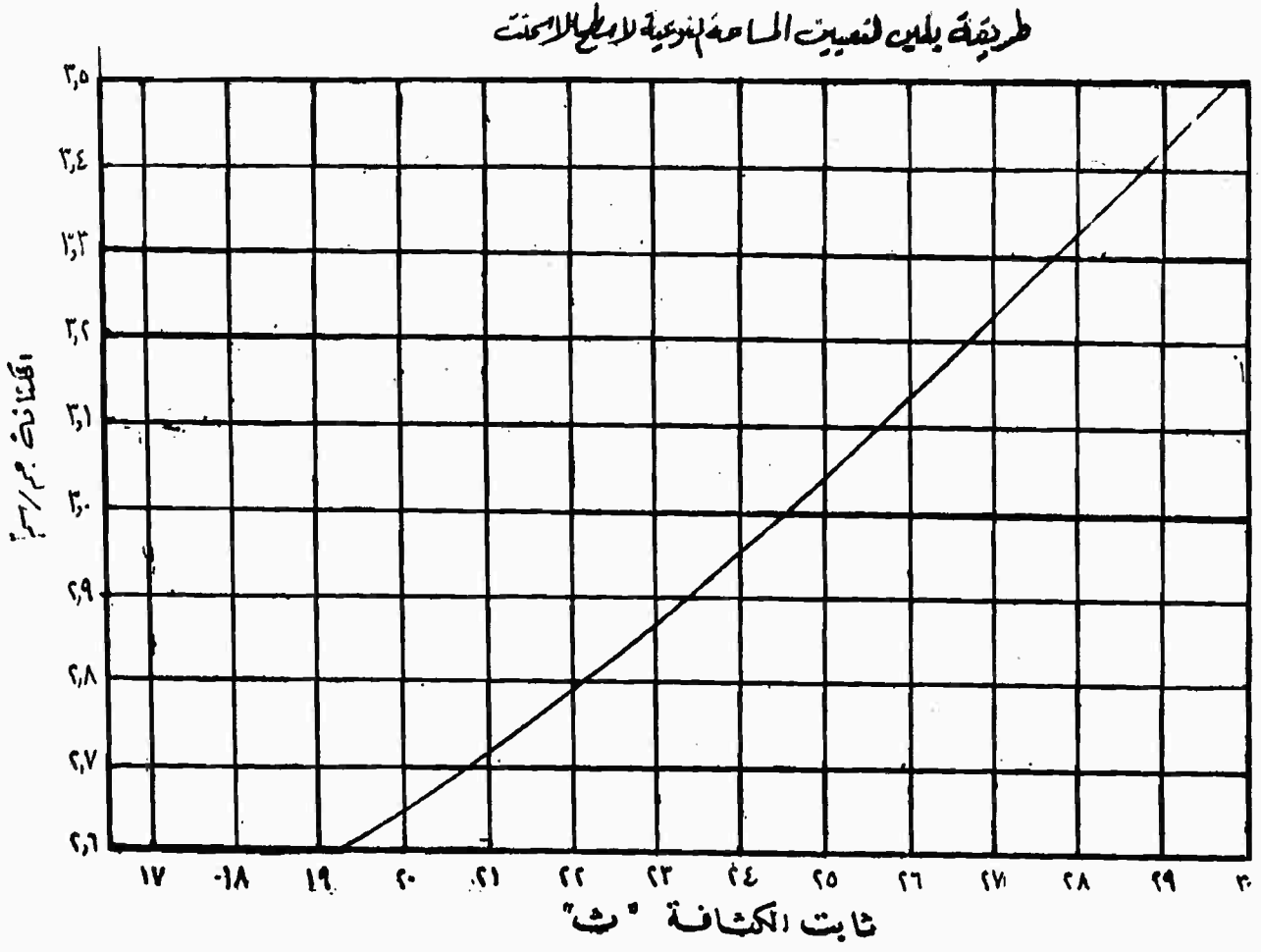
المتوسط = ٣٢,٢٤ث

المساحة النوعية للسطح (ن) = ث × ر × ج × $\sqrt{\text{ق}}$

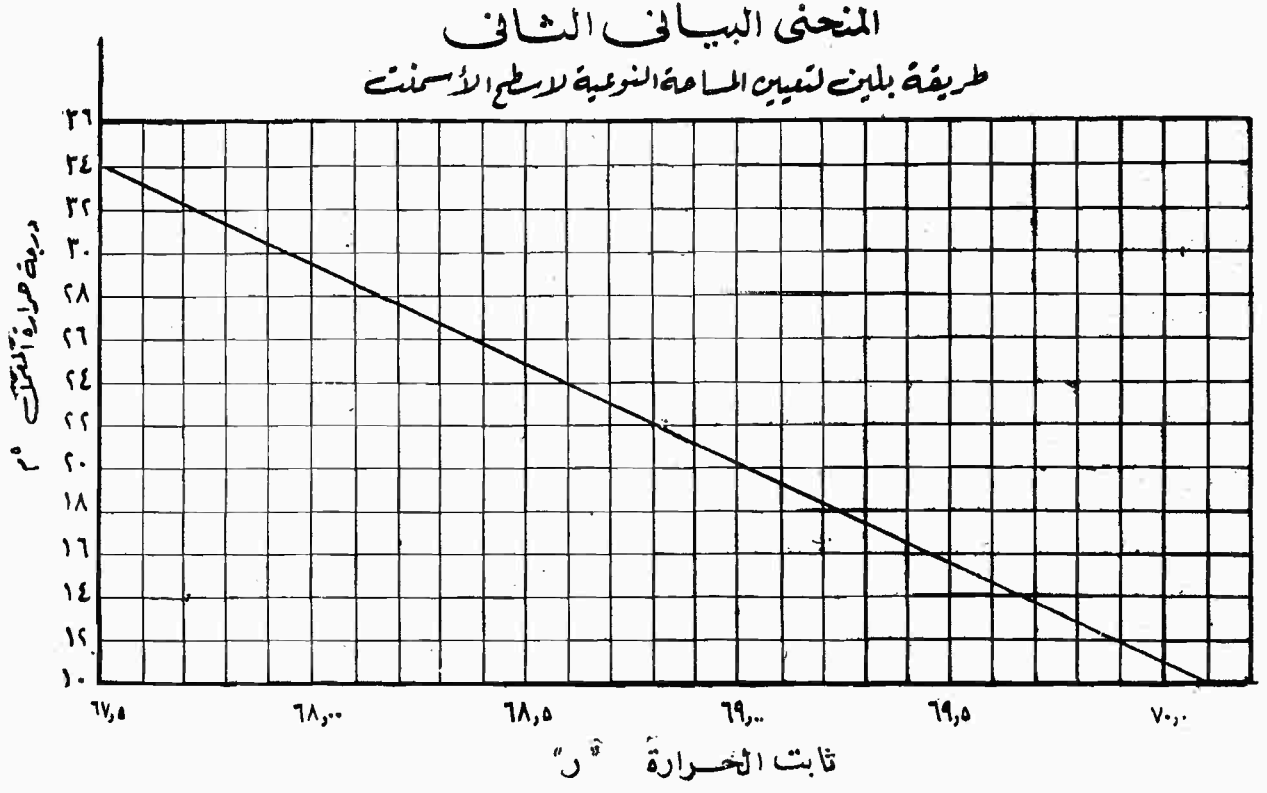
= ٢٦,٢ × ٦٨,٧ × ٠,٢٥٥٠ × $\sqrt{٧}$ $\overline{٣٢,٢٤}$

= ٢٦٠٠ سم^{٢} /جم

المسامية (س) = ٠,٥٣١ (من المنحنى البيانى الثالث) شكل رقم (٢ ــ ١٩)



شكل رقم (٢ -١٧) المنحى البيانى الأول لتحديد الثابت « ث »



شكل رقم (٢ ـ ١٨) المنحنى البيانى الثانى لتعين الثابت « ر »

شكل رقم (٢ – ١٩) المنحنى البياني الثالث لتعيين المسامية « س »

سادساً : ملاحظات .

تعيين الكثافة بالطريقة العادية ، بأن توزن عينة من الاسمنت بقنينة كثافة معروفة الوزن وتملأ القنينة إلى نصف سعتها بالكيروسين (النتى المجفف المعاد تقطيره لحصيلة ٢٠٠° — ٢٤٠°م) وتجرى الخلخلة بجهاز تفريغ لمدة نصف ساعة ثم تملأ القنينة بالكيروسين فى ترموستات لتوزن بعد ثبات الحرارة . ويجرى حساب الكثافة إلى أقرب ٠,٠٢ جم/سم٣ .

جدول رقم (٢ — ٤)

المساحة النوعية للسطح المقابلة للنسب المارة من منخل رقم ٢٠٠

الحدود التقريبية للنسبة المئوية المارة من منخل رقم ٢٠٠ (بالوزن)	المساحة النوعية للسطح سم٢ / جم	
	طريقة بلين	طريقة فاجنر
٧٦ — ٨٣	٢٥٠٠	١٢٥٠
٨٢ — ٩٠	٣٠٠٠	١٥٠٠
٨٧ — ٩٣	٣٣٠٠	١٧٥٠
٩٢ — ٥٦	٣٦٠٠	٢٠٠٠
٩٥ — ٩٨	٣٨٠٠	٢٢٥٠
٩٦ — ٩٩	٤٠٠٠	٢٥٠٠

والمساحة النوعية للسطح لأنواع الاسمنت البورتلاندى التجارى التى تنتج فى الوقت الحاضر تتراوح تقريبا بين ٢٨٠٠ إلى ٢٤٠٠ سم٢ / جم (بجهاز بلين) أما بالنسبة للاسمنت السريع التصلد فتصل هذه الحدود بين ٣٥٠٠ إلى ٤٢٠٠ سم٢ / جم .

وتتوقف نعومة الاسمنت أساساً على مجموعة من العوامل تتوقف على طريقة الصناعة فالمكونات الكيميائية ودرجة الاحتراق تؤثر على صلادة الكلنكر وبالتالى على النعومة التى يطحن إليها الاسمنت يضاف إلى ذلك أن النعومة تتأثر بزمن الطحن ونوع الطواحين المستعملة فى العملية .

ويؤثر تخزين الاسمنت لحد ما على درجة نعومته . وهناك رأى على يقـــول عن احتمال احتفاظ الاسمنت بدرجة نعومته بمضى الوقت بشرط عدم امتصاصه أية كمية من البخار . وقد تزيد درجة النعومة قليلا ويعلل أصحاب هـــذا الرأى نتيجة لتفتت الحبيبات الكبيرة فى الاسمنت الناتج عن تفاعل حبيبات الجير المدفونة فيه .

(ب) الكثافة النوعية للاسمنت البورتلاندى :

تقرب الكثافة النوعية للاسمنت البورتلاندى العادى من الرقم ٣,١٥ ويؤثر التخزين الطويل تأثيراً كبيراً على الكثافة النوعية فتخفضها وذلك لأن الاسمنت الحديث الطحن عند تعرضه للهواء يمتص البخار الموجود فيه بسرعة وكذلك يمتص ثانى أكسيد الكربون .

وقد يؤثر التخزين لمدة شهر على الكثافة فتخفضها من ٣,١٥ إلى ٣,٠٨ ويقل هذا الرقم بالتخزين الأطول فيصل إلى ٣,٠٠ وتؤثر المكونات الكيميائية على الكثافة النوعية للاسمنت ، فالاسمنتات التى تحتوى على نسبة عالية من أكسيد الحديد قد تزيد الكثافة فيه بكميات تتراوح بين ٠,٠٥ إلى ٠,١٠ عن الأنواع المحتوية على نسبة أقل من هذه الأكاسيد . وزيادة على ذلك فان الاسمنتات ذات الحبيبات الناعمة تقل الكثافة النوعية فيها عن الاسمنتات ذات الحبيبات الكبيرة مع إشتراكهما فى نفس التركيب والمكونات .

ويتخذ اختبار الكثافة النوعية للاسمنت لاكتشاف أية ظروف غير عادية فى نوع الاسمنت إذا عرفت كثافته النوعية . وبالإضافة إلى ذلك يمكن المقارنة بين نوعين من الاسمنت إذا عرفت الكثافة النوعية لكل .

(جـ) الشك والتصلد فى الاسمنت البورتلاندى العادى :

عند خلط الاسمنت البورتلاندى العادى بالماء ليكون عجينة رقيقة فان هذه العجينة تقل لدونتها تدريجياً بمضى الوقت حتى تصل إلى درجة التصلد . وعندما تفقد العجينة لدونتها وتصبح متماسكة تماماً بحيث تستطيع أن تتحمل ضغطا معين ملحوظا يقال أنها قد شكت تماماً .

وينقسم زمن الشك إلى قسمين : الشك الابتدائى والشك النهائى . وبعد وصول عجينة الاسمنت إلى دور الشك النهائى فإنها تزداد فى التماسك والمقاومة . وهذه

العملية الأخيرة أى الحصول على المقاومة يعرف بأن العجينة قد وصلت إلى دور التصلد.

ويجب ألا يكون شك الأسمنت سريعاً أو بطيئاً إذ أنه فى حالة الشك السريع لن يكون هناك وقت كاف لنقل الخرسانة إلى موقع الصب قبل فقد لدونتها ، وفى الحالة الثانية يحتاج الشك إلى وقت طويل مما يعمل على تعطيل العمل وبالإضافة إلى ذلك فقد يؤخر ذلك من الانتفاع بالمنشأ وذلك لتأخـــر الحصول على المقاومة المناسبة فى الوقت المطلوب .

ويوجد العديد من الايضاحات لطبيعة عملية الشك والتصلد فى عجينة الأسمنت . وبالرغم من أن تفاصيل العملية لم تزل مجهولة إلا أن بعض الهيئات العلمية قد عرضت الرأى التالى:

بعد أن تبدأ كمية المياه اللازمة لعملية الخلط فى مباشرة التفاعل مع المواد الموجودة على سطح حبيبات الأسمنت يتكون معلق جيلاتينى وبالتدريج يتزايد فى الحجم وفى القوام فى جميع أنحاء الخليط وتأخذ عملية الاماهة (التفاعل مع الماء) مكانها وتتكون بعدئذ بعض البلورات لتفاعل الجبس مع الألومينا ومن الممكن أن يعزى الشك الابتدائى عندما تتكون بعض هذه البلورات بين حبيبات الأسمنت الفردية فتسبب سرعة التصلد التى يمكن ملاحظتها فى عجينة الأسمنت التى تحتوى على نسبة الماء المكونة القوام القياسى وبالنسبة للشك النهائى فيبدو عدم تميزه ببعض الظواهر الطبيعية فيما عدا ما نلاحظ من تحمل المادة للضغط .

وبينما تتقدم عملية الاماهة مع حبيبات الأسمنت فانه تتكون بعض الجيلاتينا ويغلظ قوام الجيلاتينا المكونة سابقا وتتصلد حاصلة على هيكلها البلورى. وقد تتكون بعض بلورات حرة فى العجينة ولكن المعروف حاليا أن التبلور لايلعب دوراً مهماً فى عملية التصلد الأولى .

وعملية التفاعل مع الماء فى الأسمنت تتزايد طردياً مع الزمن . ومن المعروف أن الأسمنت فى الخرسانات المعتادة لا يحتمل تمام عملية الاماهة فيها . ويمكن القول بأن القوام الجيلاتينى للاسمنت بعد مرحلة الشك يعد مسئولا مسئولية كبيرة عن التغيرات الحجمية التى تتعرض لها الخرسانة بتغير مكوناته من الرطوبة . ولعل النقاص والتجمد أثناء عملية التجفيف قد تضيف إلى الحقيقة الملحوظة من أن مقاومة الضغط للخرسانة

عند اختبارها وهى جافة تكون كبيرة بفرق ملحوظ عنها لو اختبرت وهى رطبة .

والعوامل المؤثرة على خواص الشك فى الأسمنت هى :

مكوناته والنسبة المئوية للمادة المضافة لتبطىء عملية الشك ودرجة التكلس ودرجة نعومة الطحن وعملية التهوية المصاحبة لعملية الطحن والنسبة المئوية للماء المضاف لتكوين العجينة ودرجة الحرارة للماء والأسمنت عند الخلط ونسبة الرطوبة ودرجة الحرارة لبخار للوجود فيه الخلط أو الجو المحيط العجينة وكمية الإعداد اليدوى التى حضرت فيها العجينة . وعموماً فكلما زادت درجة الحرارة كلما أسرعت عملية الشك وأن نسبة الماء المئوية المستعمل فى خلط العجينة يؤثر بدرجة كبيرة على زمن الشك فالعجينة ذات النسبة العالية من الماء تشك أبطأ من العجينة الجافة نسبياً ولذلك تحدد نسبة الماء لعمل العجينة ذات القوام القياسى عند اختبار زمن الشك

وإذا استعمل الأسمنت الناتج مباشرة من طحن الكلنكر فإن زمن الشك يحدث سريعا ولذلك تضاف نسبة من ٢٪ إلى ٦ ٪ من الجبس الخام أو التام التكليس بحيث تكون الإضافة إلى الكلنكر قبل عملية الطحن فتعمل هذه الإضافة كعامل لتبطىء عملية الشك .

وتشك الأسمنتات المعرضة لجو مشبع ببخار الماء أبطأ منها لو كانت معرضة لجو جاف وبزيادة زمن الخلط وتطويل عملية تسوية سطح الونة كل ذلك يبطىء من عملية الشك .

ويتأثر زمن الشك فى الأسمنت بالمكونات الكيميائية إلى حد ما ولكن لنعومة الأسمنت وكمية الماء الداخلى فى تكوين العجينة ودرجة الحرارة المخزونة فيها العجينة هى المؤثرات التى تؤثر بوضوح على عملية الشك .

وفى الحدود المقررة للنعومة فى الاسمنت فإنه كلما زادت نعومة الأسمنت كلما أسرع زمن الشك وذلك بسبب النشاط الكيميائى الفعال . وهناك بعض الحالات فى الأسمنتات تميل إلى ما يعرف باتصافها بالشك الخاطف (Flash Setting) .

كما أن زيادة كمية الماء تبطىء زمن الشك. وكذلك درجة الحرارة المنخفضة ويمكن

الاستفادة من هذه الخاصية عندما يطلب شك سريع فتقلل كمية المياه المضافة مع زيادة درجة الحرارة .

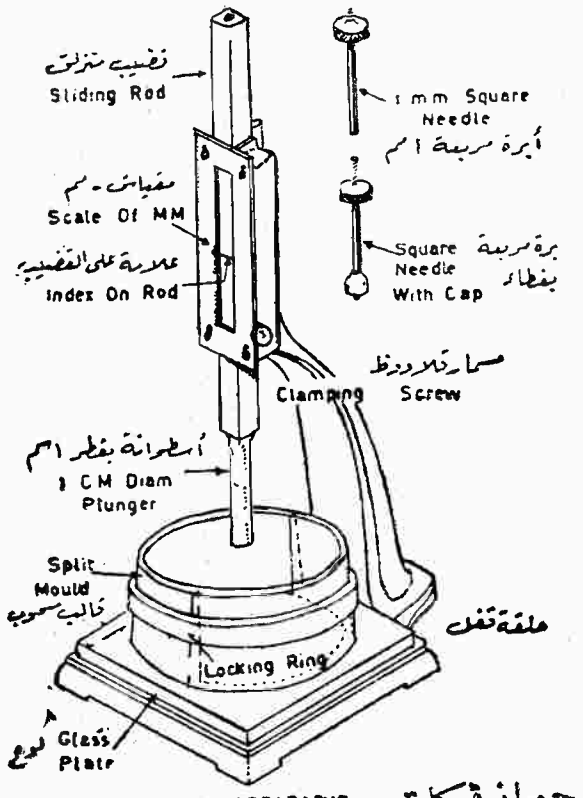
ويمكن الحصول على قياس لزمن الشك فى الأسمنت بعمل عجينة ذات قوام قياسى بمقاييس وظروف معينة واستخدام جهاز فيكات (Vicat) المبين بالشكل رقم (٢ — ٢٠)

وتتطلب المواصفات القياسية للأسمنت البورتلاندى العادى والسريع التصلد ألا يحدث الشك الابتدائى قبل مضى ٤٥ دقيقة وألا يتأخر الشك النهائى عن عشر ساعات .

وتخضع معظم أنواع الأسمنت لهذه الاشتراطات . وعلى العموم فإن هذه الاسمنتات يحدث فيها الشك الابتدائى فى حدود تتراوح بين ساعتين إلى أربع ساعات والنهائى من خمس إلى ثمانى ساعات .

نسب الجبس المستخدمة وتأثيرها على زمن الشك:

يضاف الجبس عادة إلى الكلنكر عند تغذيته إلى الطواحين ليتم مزجهما وطحنهما معا وتتراوح النسبه المضافة بما يناظر حوالى ١ إلى ٣٪ من ثالث أكسيد الكبريت أى ما يعادل حوالى ٢ إلى ٦٪ من الجبس نقاوة ١٠٠٪ ، أو حوالى ٣ إلى ٩٪ من الجبس نقاوة ٧٥٪ ، أو حوالى ٥ إلى ١٠٪ من الجبس نقاوة ٥٠٪ وتحدد المواصفات



شكل رقم (٢ — ٢٠)

القياسية المصرية الحد الاقصى لنسبة ثالث أكسيد الكبريت فى الاسمنت البورتلاندى بمقدار ٢,٥ ٪ بالوزن فى الحالات التى لا تزيد فيها نسبة ألومينات الكالسيوم على ٧٪ بالوزن . وبمقدار ٤ ٪ بالوزن فى الحالات التى يزيد فيها ثالث ألومينات الكالسيوم على ٧ ٪ بالوزن . وقد يسبب زيادة نسبة ثالث أكسيد الكبريت عن الحد المقرر أن يحدث تمدد بطىء فى الاسمنت بعد شكه .

وجدير بالذكر أن تأثير الجبس على زمن الشك الابتدائى وزمن الشك النهائى للاسمنت البورتلاندى لا يزيد بانتظام مع زيادة نسبة الجبس المضاف ، ويبدأ زمن الشك (الابتدائى والنهائى) فى الزيادة فجأة عندما تصل نسبة الجبس المضاف إلى ١,٢ ٪ (محسوباً على أساس ثالث أكسيد الكبريت) وتستمر الزيادة بمعدل مرتفع جداً حتى تصل نسبة الجبس المضاف إلى ٣,٥ ٪ بالوزن . كما يراعى أن إضافة الجير أو وجوده غير متحد فى الكلنكر يساعد على تبطىء عملية الشك الناتجة من الجبس .

ميكانيكية عملية تبطىء الشك باستخدام الجبس :

تعتبر عملية التحكم فى زمن الشك من العمليات الهامة فى صناعة الاسمنت ، حيث أن الاسمنت الذى لا يحتوى على مبطىء الشك — مثل الجبس — يشك بسرعة كبيرة قد لا تمكن من إتاحة وقت كاف لاتمام عملية الخلط مع مكونات الخرسانة على الوجه الأكمل ، ثم عملية نقل هذه الخرسانة إلى مكان الصب ، ثم عملية الصب التى يلزم أن تتم قبل بداية الشك . هذا بالإضافة إلى أن عدم استخدام وسائل التحكم فى زمن الشك يؤدى إلى عدم إنتظام الشك فى العينات المختلفة من الاسمنت وبذلك يتعذر المقارنة بين الأنواع المختلفة . ويزيد من سرعة الشك ارتفاع نسبة الألومينا وأكسيد الحديد فيه . أو بمعنى آخر ارتفاع نسبة المكونات المحتوية عليها وهى ألومينات ثلاثى الكالسيوم ($٣\ كا\ أ_{٢}\ أ_{٣}$) ألومينات حديد رباعى الكالسيوم ($٤\ كا\ أ_{٢}\ ا_{٢}\ ح_{٢}\ أ_{٣}$) وهذان المكونان هما المسئولان — من بين مكونات الاسمنت الأربعة الأساسية — عن الشك الوميض حيث أن ألومينات ثلاثى الكالسيوم تتميز بأعلى معدل الاماهة بين هذه المكونات ، ويليها ألومينات حديد رباعى الكالسيوم ، ثم سليكات ثلاثى الكالسيوم ثم سليكات ثنائى الكالسيوم .

ولذلك فعند إضافة الماء — فى حالة عدم وجود الجبس كمادة مبطئة — يبدأ بسرعة المكون الأول فى الاماهة يليه المكون الثانى وينتج عن هذا انفصال بلورات من

ألومينات ثلاثى الكالسيوم الثنائى بكمية قد تكون كافية لتماسك الخلطة وحدوث الشك الوميضى ويكون ذلك مصحوباً بارتفاع درجة الحرارة . ويفسر التفاعلان الآتيان (١) و (٢) إماهة هذين المكونين :

$$٣\,كا_٣\,أ . لو_٢\,أ_٣ + ٦\,يد_٢\,أ = ٣\,كا_٣\,أ لو_٢\,أ_٣ ٦\,يد_٢\,أ\ (بلورات) \qquad (١)$$

$$٤\,كا_٣\,أ لو_٢\,أ_٣ ح_٢\,أ_٣ + ن\,يد_٢\,أ = ٣\,كا_٣\,أ لو_٢\,أ_٣ ٦\,يد_٢\,أ + كا_٣\,أ ح_٢\,أ_٣ (ن-٦)\,يد_٢\,أ \qquad (٢)$$

أما فى حالة وجود الجبس كمادة مبطئة للشك ، فإن الجبس يتفاعل مع ألومينات ثلاثى الكالسيوم مكوناً سلفو ألومينات الكالسيوم المائى (تفاعل ٣) :

$$٣\,كا_٣\,أ لو_٢\,أ_٣ + ٣\,(كا كب أ_٤ ٢\,يد_٢\,أ) + ٢٥\,يد_٢\,أ = ٣\,كا_٣\,أ لو_٢\,أ_٣ ٣\,كا كب أ_٤ ٣١\,يد_٢\,أ \qquad (٣)$$

وهناك تفسير آخر وهو أن الجبس يتفاعل مع المواد القلوية التى قد تكون موجودة بالاسمنت محطياً هيدروكسيد الكالسيوم وهذا الأخير يتفاعل بدوره مع ألومينات ثلاثى الكالسيوم مكوناً مركباً أكثر ثباتاً هو ألومينات رباعى الكالسيوم (تفاعل ٤) :

$$٣\,كا_٣\,أ لو_٢\,أ_٣ + كا\,(أ يد)_٢ = ٤\,كا_٣\,أ لو_٢\,أ_٣ + يد_٢\,أ \qquad (٤)$$

ويعزز هذا التفسير ظاهرة زيادة تبطيء الشك فى حالة إضافة كمية من الجير إلى الاسمنت أو فى حالة وجود الجير كمادة حرة غير متحدة مع الاسمنت .

وفى جميع الأحوال فإنه ينتج عن إضافة الجبس كمادة مبطئة أن يقل تركيز ألومينات ثلاثى الكالسيوم فى المحلول إلى درجة لا تسمح بانفصال بلورات ألومينات ثلاثى الكالسيوم المائى (٣ كا أ ، لو_٢ أ_٣ ٠ ٦ يد_٢ أ) متيحاً بذلك وقتاً كافياً لإماهة سليكات ثلاثى الكالسيوم البطيئة وينتج من هذه الإماهة إنفصال بلورات إبرية من هيدركسيد الكالسيوم فى وسط جيلاتينى من سليكات ثنائى الكالسيوم المائى الذى يتم تبلوره ببطء بعد ذلك (تفاعل رقم ٥) .

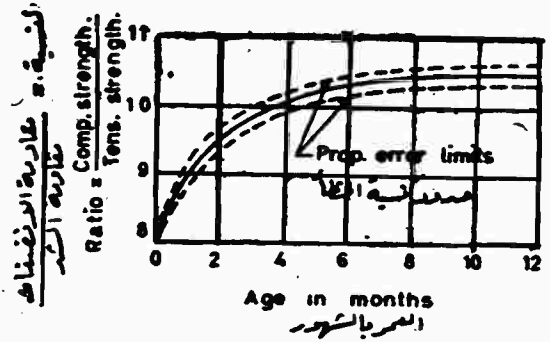
$$٣\,كا_٣\,أ س أ_٢ + ن\,يد_٢\,أ = ٢\,كا_٣\,أ س أ_٢ (ن - ١)\,يد_٢\,أ + كا\,(أ يد)_٢ \qquad (٥)$$

ويلاحظ أن هذه العملية تستمر حتى يتم استنفاذ الجبس أو يتم استنفاذ ألومينات ثلاثى الكالسيوم بينما تستمر سليكات ثلاثى الكالسيوم فى الإماهة . فإذا ما تم استنفاذ الجبس أولا فإن ألومينات ثلاثى الكالسيوم المتبقية تبدأ فى الإماهة ولكن يتم ترسيب البلورات المائية المتكونة فى وسط المنتجات المتكونة من إماهة سليكات ثلاثى

الكالسيوم والتى سبق بيانها ، ويزيد ذلك بالطبع من سرعة تماسك الخلطة وبالتالى من سرعة الشك الابتدائى .

(د) مقاومة الأسمنت البورتلاندى :

حددت المواصفات القياسية الحد الأدنى لمقاومة الأسمنت البورتلاندى المطلوبة منه سواء فى الشد أو الضغط . وتعتبر مقاومة الشد فى الأسمنت ليست بذات أهمية وذلك لان مونة الأسمنت أو الخرسانة قلما تستعملان فى تحمل إجهادات الشد . وقد قصر اختبار الشد فى المعمل فى حالة وجود علاقة بين إجهادات الشد واجهادات الضغط ويمكن مع التجاوز إعتبارهذه العلاقة ثابتة إلى حدما معمرورالزمن كما يتبين من الشكل رقم (٢—٢١) وتتغير بتغير نوع الأسمنت ونسب الخلطات . ولا يمكن اعتبار اجهاد الشد مقياساً لمقاومة الأسمنت فى المونة والخرسانة . ولذلك لم يعد الشد اختبارا قياسيا فى المواصفات .



تأثير العمر على النسبة بين مقاومة الإنضغاط ومقاومة الشد لمونة الأسمنت البورتلاندى

شكل رقم (٢ — ٢١)

ويدخل الأسمنت أساسا فى المنشآت ليتحمل إجهادات الضغط ولذلك فإجهاد الضغط لمونة الأسمنت تكون ذات أهمية أكبر من إجهاد الشد .

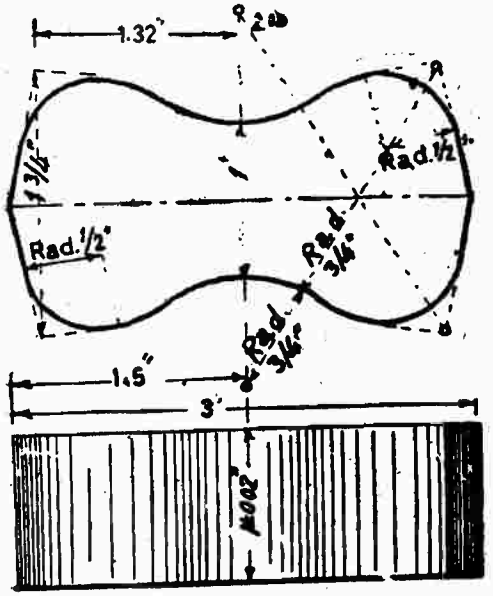
ويعين إجهاد الشد باختبار قوالب من مونة الأسمنت بنسبة ١ : ٣ (أسمنت إلى رمل قياسى) بالوزن مع نسبة قياسية من الماء الذى يحدد حسب الاحتياجات للعجينة ذات القوام القياسى .

والأرقام القياسية لإجهادات الشد كما نصت عليها المواصفات القياسية المصرية للاسمنت البورتلاندى السريع التصلد هى كمايلى باستخدام قالب الاختبار المبين بالشكل رقم (٢ — ٢٢) .

إجهاد الشد بعد ٢٤ ساعة : لا تقل عن ٢١ كجم / سم٢ .

إجهاد الشد بعد ٣ أيام : لا تقل عن ٣١,٥ كجم/ سم٢ وفى نفس الوقت أكبر من الإجهاد بعد يوم واحد .

أما إجهاد الضغط فتحدد أيضاً باختبار مونة بنسبة ١:٣ (أسمنت إلى رمل) بالوزن مع نسبة محددة من الماء = ١٠٪ من وزن الرمل والأسمنت ويجرى الاختبار على قوالب مكعبة الشكل مسطح كل منها ٥٠ سم٢ وطول ضلع المكعب ٧,٠٦ سم ويصير دمك القالب بالإهتزاز بتثبيت القالب بمكنة الاهتزاز كما يتضح من الشكل رقم (٢—٢٣) ورقم (٢—٢٤) ويفضل الكثير من المهندسين إختبار إجهاد الضغط وذلك لتشابه ظروف الاختبار مع الظروف التى تتعرض لها كل من المونة والخرسانة وتستخدم فى إجراء الضغط المكعبة المبينة بالشكل رقم (٢—٢٥) .



BRIQUET SPECIMEN FOR TENSILE STRENGTH TEST.

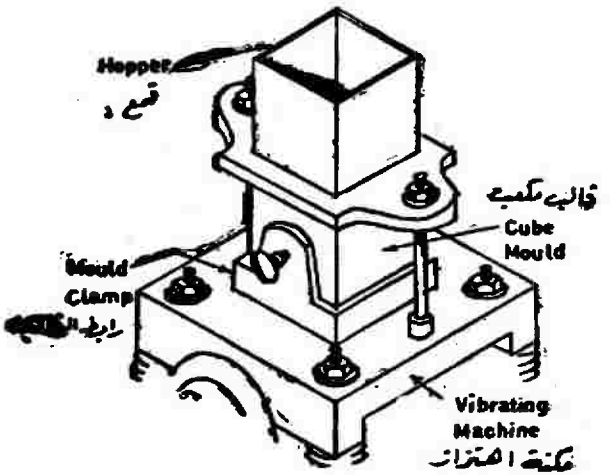
نموذج طوبية مونة الأسمنت لإختبار مقاومة الشد

شكل رقم (٢ — ٢٢)

والجدول التالى رقم (٢ — ٥) يبين الاحتياجات المطلوبة لمقاومة الضغط على مونة الأسمنت والرمل القياسى بنسبة ١ : ٣ (بالوزن) .

جدول رقم (٢ — ٥) مقاومة الضغط لأنواع الأسمنت المختلفة

نوع الأسمنت	مقاومة الضغط كجم / سم٢	
	بعد ٣ أيام	بعد ٧ أيام
بورتلاندى عادى	لا تقل عن ١٥٤	لا تقل عن ٢٣٨
بورتلاندى حديدى	لا تقل عن ١١٢	لا تقل عن ٢١٠
بورتلاندى سريع التصلد	لا تقل عن ٢١٠	لا تقل عن ٢٨٠

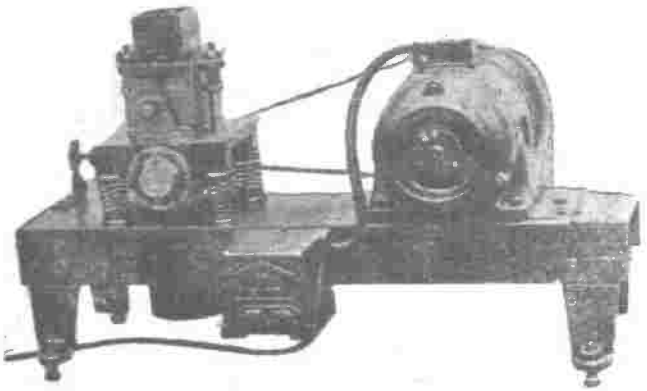


MOULD AND HOPPER FITTED TO VIBRATOR

تثبيت القالب والقمع بالجهاز

(قوالب لاختبار الانضغاط لمونة الاسمنت)

شكل رقم (٢ — ٢٣)



شكل رقم (٢ — ٢٤)
مكنة الاهتزاز لمعك قالب الضغط

ويؤثر التركيب الكيميائى للاسمنت البورتلاندى العادى على درجة مقاومته فوجود نسبة عالية من سليكات ثلاثى الكالسيوم و / أو ألومينات ثلاثى الكالسيوم تسبب مقاومة مبكرة . وكلما زادت كمية هذه المكونات كلما زاد تأثيرها . ولا تؤثر فقط محتويات الاسمنت البورتلاندى العادى على مقاومته وإنما تتأثر مقاومته أيضاً إلى درجة كبيرة بدرجة الحرق ونعومة الطحن ودرجة التهوية . فإذا حرق الاسمنت بدرجة أقل من الدرجة المطلوبة فإن ذلك يسبب ضعف مقاومته . وإذا اعتبرنا أن الكلنكر قد أخذ درجة الحريق اللازمة فإن زيادة نعومة حبيبات الاسمنت يزيد من مقاومة المونة أو الخرسانة الناتجة وكذلك فان التهوية بالإضافة إلى الطحن الجيد تزيدان من مقاومة الاسمنت .

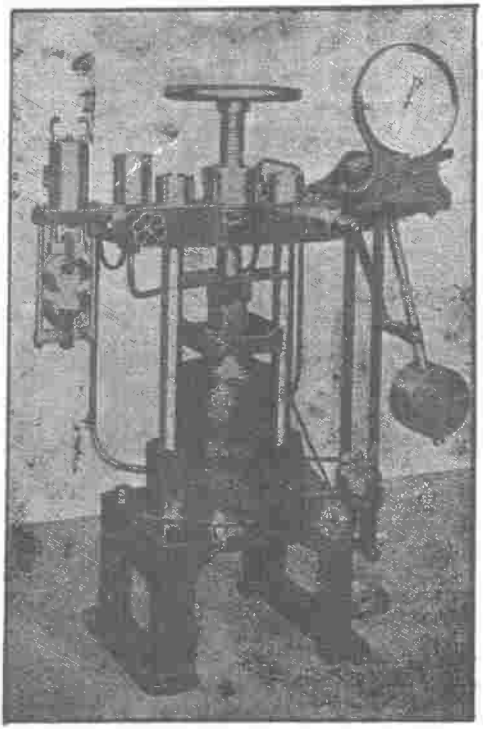
ويمكن الإشارة إلى ثلاث ملاحظات بالنسبة للاسمنت فى المونة وهى :

(ا) نقص المقاومة بزيادة نسبة الرمل فى الخليط . شكل رقم (٢ — ٢٥)

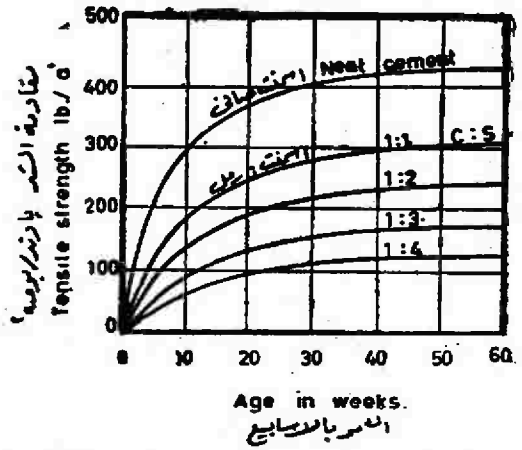
(ب) زيادة المقاومة مع زيادة الزمن . شكل رقم (٢ — ٢٦) .

(حـ) اختلاف مقاومة مونة الاسمنت باختلاف مقاس الرمل المستعمل . شكل رقم (٢ — ٢٧)

وكذلك يلاحظ أن معدل الزيادة والمقاومة يكون كبيراً فى الفترة الأولى للتصلد وينقص المعدل كلما زاد الوقت . وفى المرحلة الاولى للتفاعل مع الماء تدخل الطبقات الاولى من الاسمنت فى التفاعل الكيميائى وإذا اختبرت قطعة من الخرسانة تحت الميكر وسكوب يشاهد أن الحبيبات التى لم يتم تفاعلها تظل موجودة فى العجينة المتصلدة .



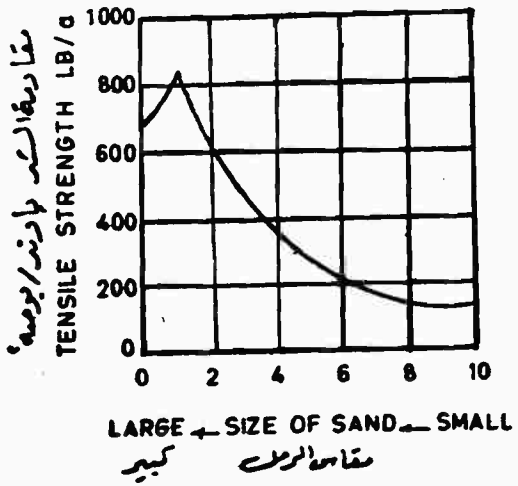
شكل رقم (٢ — ٢٥)
مكنة اختبار الضغط لمكعبات مونة الأسمنت



تأثير نسبة الرمل والعمر على مقاومة مونة الأسمنت

شكل رقم (٢ — ٢٦)

وهذه الحبيبات التى لم يتم تفاعلها مع الماء تستمر فى امتصاص الرطوبة من الهواء حتى بعد جفاف ماء الخلط . وباستمرار التفاعلات الكيميائية تزداد مقاومة وكثافة الخرسانة وهذه العملية قد تمتد لعدة سنين ويوضح الجدول رقم (٢ — ٦) عمق ونسبة الإماهة فى الاسمنت البورتلاندى العادى .



شكل رقم (٢ـ ٢٧)
إختلاف مقاومة مونة الأسمنت للشد باختلاف مقاس الرمل

جدول رقم (٢ — ٦) عمق ونسبة الاماهة للاسمنت البورتلاندى العادى

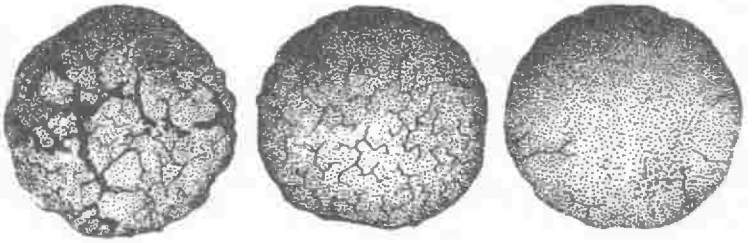
المدة بالايام	عمق الإماهة بالميكرون	نسبة الإماهة ٪
١	٠,٥	٢٤
٧	١,٧	٤٢
٢٨	٣,٥	٥١
٩٠	٥,٠	٦٠

(هـ) ثبات حجم الاسمنت (Soundness)

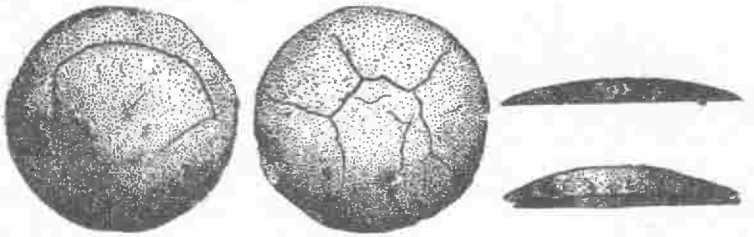
ثبات حجم الاسمنت معناه غياب العناصر التى تعمل على الضرر بمقاومته وتحمله مع مرور الزمن وهذه الخاصية تعتبر واحدة من الخواص اللازمة للأسمنت .

وقد ينتج عدم الثبات بعد تمام عملية الشك نتيجة لتمدد بعض المواد الداخلية فى الاسمنت وهذا التمدد يصحبه تشققات ثم تفتيت كتلة الاسمنت . كما يتبين من الشكل رقم (٢ — ٣٠) .

ولما كانت بلورات الأسمنت تنكمش أثناء جفافها وتتمدد بترطيبها فمن الواضح أن هذه الخاصية لمكونات الأسمنت تسبب انكماشا للمونة أو الخرسانة فى الهواء وتمدداً لهذه الحبيبات فى الماء . ويمكن تقليل هذه الظاهرة بإضافه المواد المالئة الخاملة مثل الرمل فى المونة والرمل والزلط فى الخرسانة .



التشققات بكتلة الأسمنت نتيجة التمدد



التشققات بكتلة الأسمنت نتيجة الانكماش

شكل رقم (٢ – ٢٨)

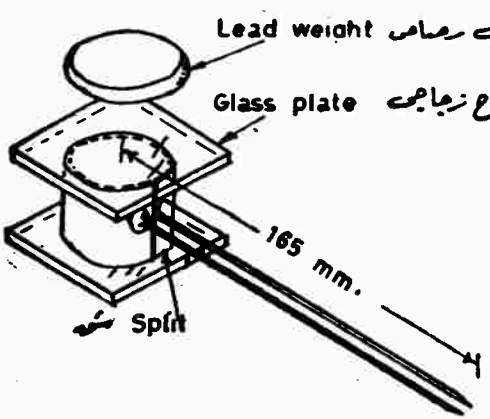
ويرجع عدم الثبات فى الأسمنت غالبا إلى تفاعل الجير الحى الموجود فى حبيبات الأسمنت مع الماء ويمنع الغلاف الحافظ لحبيبة من تفاعل الجير الحى مع الماء بسرعة إلا أن الرطوبه تصل فى النهاية إلى الجير بعد أن يصل الأسمنت إلى مرحلة الشك . هذا ويتمدد الجير بقوة ملحوظة أثناء عملية إطفائه وهذا التمدد المتأخر قد يسبب تفتت الكتلة ومن هنا تظهر فائدة من فوائد إبطاء زمن الشك حيث يعمل ذلك على زيادة الوقت أمام الجير الحى حتى يتم إطفاؤه قبل تصلد عجينة الأسمنت .

ويوجد سبب آخر لعدم الثبات وهو وجود زيادة فى نسبة المغنيزيا المميهة . ولا يظهر عدم الثبات فى هذه الحالة إلا بعد وقت طويل أطول من حالة الجير الحى وذلك لأن الماغنيزيا بعد أن تعرضت لدرجة كبيرة من الحرق مع الكلنكر تستمر لمدة طويلة حتى يتم إطفاؤها . ولذلك تحدد المواصفات القياسية الحد الأعلى لنسبة الماغنيزيا فى الأسمنت بحيث لاتتعدى ٥ ٪ .

وكذلك يمكن أن تكون زيادة نسبة الكبريتات فى الاسمنت عاملا من عوامل عدم الثبات . والتمدد فى هذه الحالة لا يرجع لتفاعل كبريتات الكالسيوم مع الماء ولكنه يعزى إلى تكون كبريتات الكالسيوم الألومينية التى تتبين خطورتها عندما تكون موجودة بكميات كبيرة فقط. وتحدد المواصفات القياسية لنسبة وجود الكبريتات على هيئة ثالث أكسيد الكبريت SO_3 بحيث لا تزيد على ٣ ٪ .

ويعمل الطحن الجيد للمواد الخام على تقارب واندماج الحبيبات ببعضها البعض أثناء عملية الحريق ولا تكون هناك فرصة لوجود الجير الحى فى الكلنكر ، وكذلك يقلل استمرار عملية الحرق من وجود الجير الحى وأخيرا فإن الطحن الجيد للكلنكر يعمل على تعريض الجير الحى حتى يمكنه التفاعل بسهولة مع الماء وبذلك يعمل على تقليل فرصة عدم ثبات الأسمنت .

وإذا سمح للاسمنت المتصف بعدم الثبات بالتعرض للهواء لعدة أيام فإن الجير الحى يأخذ فرصة كبيرة للاطفاء وقد يصبح الأسمنت بعد ذلك ثابت الحجم . ولكن من المعروف أن عملية التهوية للجو قد تضر بمقاومة الأسمنت ولذلك لا يلجأ إلى التهوية إلا إذا اتصف الأسمنت بعدم ثباته.

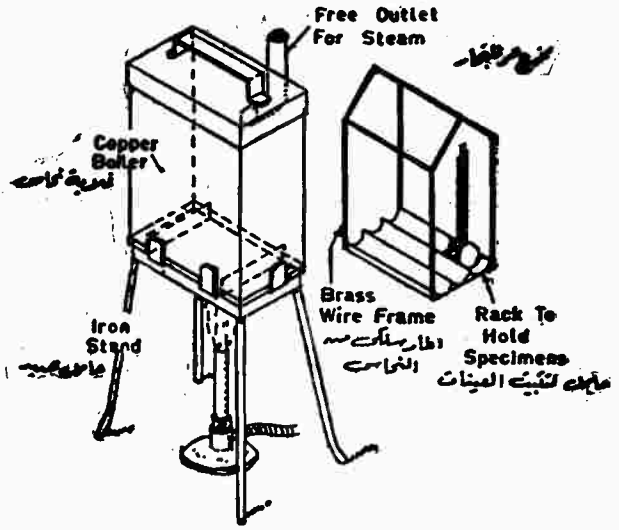


CHATELIER MOULD

قالب "شاتليه"

شكل رقم (١ — ٢٩)

ونتيجة للآثار المترتبة على عدم ثبات الأسمنت فقد حددت المواصفات القياسية الحدود التى يمكن التجاوز عنها فى الأسمنت غير الثابت (بطريقة لوشاتلييه باستخدام القالب شكل (٢ — ٢٩) وجهاز الغلاية شكل رقم (٢ — ٣٠) كما سيبين فيما بعد كما سمحت المواصفات القياسية بإعادة الاختبار باستعمال عينة أخرى فى أى وقت خلال ٢٨ يوما بعد الاختبار الأول



LE CHATELIER BOILING APPARATUS

جهاز غلاية "لوشاتيليه"

شكل رقم (٢ — ٣٠)

سادسا : انواع الاسمنت البورتلاندى

دلت التحليلات المختلفة التى أجريت على الأسمنت البورتلاندى أن خواصه تتأثر بتغير مكونات المواد الخام الداخلة فى تركيبه كما يمكن الحصول على مدى واسع من الخواص المميزة عن طريق تغيير نسب هذه المواد الخام . وتتأثر كذلك خواص الأسمنت البورتلاندى بدرجة نعومته والطرق الفنية المختلفة لصناعته .

ونتيجة لما تتطلبه الاحتياجات المختلفة فقد وجدت أنواع متعددة من الأسمنت يتميز كل منها بصفة خاصة حسب تعدد هذه الاحتياجات وأهم هذه الأنواع هو الأسمنت البورتلاندى العادى ، وقد درسنا أهم خواصه الطبيعية والميكانيكية فى البند السابق وفيما يلى موجز لأهم الخواص المميزة للانواع الأخرى من الاسمنت البورتلاندى:

(ا) الأسمنت البورتلاندى مبكر المقاومة العالية

(High Early Strength Portland Cement)

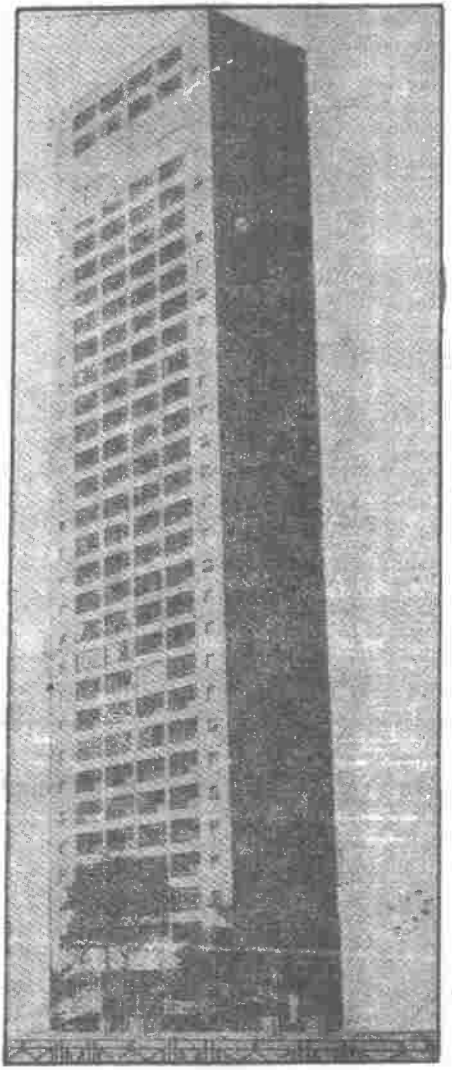
يطلق على هذا النوع من الاسمنت اسم « الأسمنت البورتلاندى سريع التصلد » (Rapid Hardening portland Cement)ويعرف تجارياً فى مصر باسم « أسمنت

سوبر كريت » . ويصنع هذا النوع من الأسمنت بحرق الخامات الغنية بالجير والتي تحرق ثم تطحن لدرجة عالية من النعومة . ويحتوى هذ الأسمنت على نسبة عالية من سليكات ثلاثى الكالسيوم أكبر من تلك الموجودة فى الاسمنت البورتلاندى العادى. وعلى ذلك نحصل على المقاومة العالية المبكرة نتيجة للطحن الناعم وزيادة سليكات ثلاثى الكالسيوم والعناية الفائقة فى اختيار المواد الخام المكونة له . وزمن الشك لهذا النوع من الاسمنت المبكر المقاومة هى نفسها فى الاسمنت البورتلاندى العادى تقريباً أما مقاومته العالية المبكرة فتكون فى زمن أسرع منها فى الاسمنت البورتلاندى العادى .

ونتيجة لسرعة حصوله على مقاومته العالية المبكرة فإنه يصطحب بارتفاع ملحوظ فى درجة الحرارة .. والخرسانة المصنوعة من هذا الاسمنت تتحمل الاجهادات المبكرة وتصل إلى درجة كبيرة من مقاومتها فى الاربع والعشرين ساعة الاولى وتقريباً كل مقاومتها بعد ثلاثة أيام . وخلطات المونة المكونة بنسبة ١ : ٣ من الاسمنت والرمل والتى يجب أن يكون إجهاد الشد فيها لا يقل عن ٢١ كجم / سم٢ بعد يوم واحد (٢٤ ساعة) عند اختبارها . ومع أن تكاليف هذا الاسمنت تزيد بحوالى ٢٠ ٪ عنها فى الاسمنت العادى إلا أنه يعتبر إقتصادياً عند الحاجة إلى مقاومة عالية مبكرة خلال يوم أو اثنين . ويستعمل هذا النوع من الأسمنت فى صناعة البلوكات الخرسانية والوحدات الجاهزة حتى يمكن نقل هذه المنتجات بعد مدة قصيرة من صبها واستعمال قوالب الصب فى العمليات المتتالية وذلك توفيراً فى عدد هذه القوالب . أما فى أعمال البناء فترفع الشدات بعد مدة قليلة قصيرة للاستفادة منها فى إتمام العمل كما هى الحالة فى المبنى المبين بالشكل رقم (٢ — ٣١) . وفى أعمال الرصف يكون من المفيد استعمال الأسمنت مبكر المقاومة وبصفة خاصة فى المواقع التى لا يمكن غلقها مدة طويلة وفى مهابط الطائرات أو الاصلاحات المطلوب فيها سرعة الانهاء .

ونتيجة لزيادة نسبة سليكات الكالسيوم وألومينات ثلاثى الكالسيوم فى هذا النوع من الأسمنت فإن الحرارة الناتجة عن عمليات التفاعل تكون أعلى منها فى الأسمنت العادى كما ذكرنا سابقاً . وهذه الخاصة تسبب اختلافا فى درجة الحرارة فى الاجزاء المختلفة من الخرسانة ينتج عنه إجهادات شد داخلية فى الخرسانة مما يعمل على حدوث تشققات . وعلى ذلك يحسن عدم استعمال هذا النوع من الاسمنت فى الانشاءات

الخرسانية ذات القطاعات الضخمة (الخرسانة الكتلية) مثل السدود ودعامات الكبارى وأكتافها .



شكل رقم (٢ — ٣١)
مبنى كبير الارتفاع متعدد الأدوار حيث يفضل استخدام الأسمنت البورتلاندى مبكر المقاومة العالية

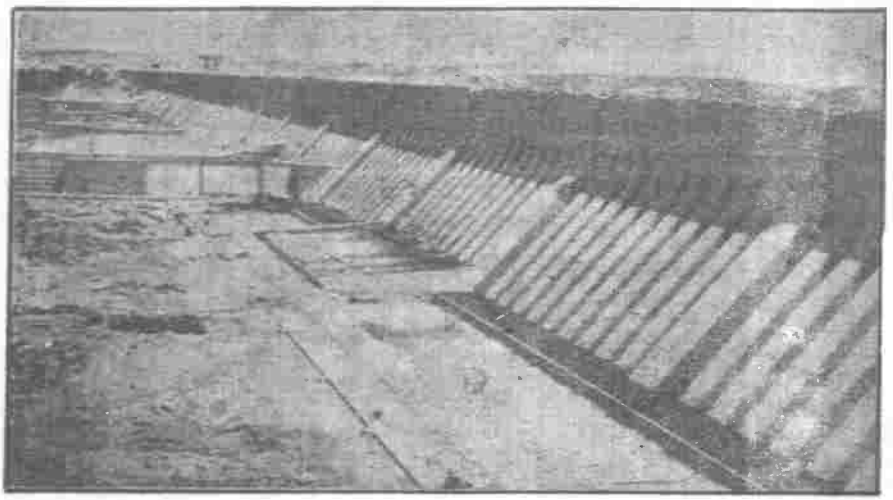
ولكن قد تظهر فائدة لهذه الخاصية فى الأسمنت مبكر المقاومة فى الأجواء الباردة إذ أن ارتفاع حرارة الإماهة المنبعثة عند التفاعل — الأسمنت مع الماء — تساعد على الوصول إلى المقاومة المناسبة فى وقت مبكر قبل حدوث أى تجمد لماء الخلط .

ويمكن الحصول على نوع خاص من هذا الأسمنت يتفوق عنه فى سرعة حصوله على المقاومة المبكرة وذلك بإضافة كلوريد الكالسيوم بنسبة ٢٪ وبالإضافة لهذه المادة تزداد مقاومة الأسمنت وخاصة فى المرحلة المبكرة وقد يتأثر زمن الشك إلى حد ما . ومن عيوب هذا النوع الخاص من الأسمنت زيادة معامل الانكماش بالاضافة إلى عدم إمكانية تخزينه لمدة تزيد على أسبوعين أو ثلاثة أسابيع على الأكثر وذلك لأن كلوريد الكالسيوم يزيد من معدل امتصاصه الرطوبة من الجو ويعمل بالتالى على سرعة تلف الأسمنت .

وهناك رأى يفضل استخدام الاسمنت البورتلاندى العادى مع زيادة فى كمية الأسمنت وذلك إذا كان من الممكن معالجة الخرسانة لفترة تزيد على ثلاثة أيام بدلا من استعمال الاسمنت المبكر المقاومة .

(ب) الاسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة

يستعمل هذا النوع من الأسمنت فى الخرسانة الكتلية مثل السدود شكل رقم (٢ — ٣٢) . والغرض من استخدامه هو تقليل كمية حرارة الإماهة الناتجة من



شكل رقم (٢ — ٣٢) سد خرسانى حيث يستخدم الأسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة

التفاعل أثناء عملية التصلد إذ بذلك يقل التمدد والانكماش فى الخرسانة . ويحتوى هذا النوع من الأسمنت على نسبة أقل من الجير وعلى نسبة أعلى من السليكا ومركبات الحديد وذلك بالمقارنة مع الاسمنت البورتلاندى العادى بالاضافة إلى أن هذا النوع من الأسمنت يتصف بنعومته كذلك فإن كمية الحرارة المنبعثة منه عند التفاعل تقل إلى ثلث الحرارة المنبعثة عند تفاعل الأسمنت البورتلاندى العادى . ويحتوى الأسمنت البورتلاندى المنخفض الحرارة على نسبة عاليه من سليكات ثنائى الكالسيوم تعمل على تقليل نسبة سليكات ثلاثى الكالسيوم الداخلة فى التركيب ونتيجة لذلك يتصف هذا الأسمنت ببطء التصلد . وليس هناك ضرورة الوصول إلى التصلد والمقاومة السريعة فى الإنشاءات الخرسانية الكتلية وقد تعتبر هذه الخاصية ميزة فى هذه الحالة حيث يضطر العمل إلى صب هذة الخرسانة على مرات مختلفة وبذلك يكون انكماشها وتمددها فى النهاية ككتلة واحدة . كما أن المركبات الكيماثية فى هذ النوع من الأسمنت تساعد على تحسين درجة نعومته حيث يفيد ذلك فى سهولة تشغيل الخرسانة مع تقليل قابلية

نفاذيتها للماء . والخرسانة المكونة من الاسمنت منخفض الحرارة تكون فى بدايتها أضعف منها فى بداية الاسمنت البورتلاندى العادى ولكن يتساوى النوعان فى مقاومتهما فى النهاية وبذلك لا يفضل استعمال هذا النوع من الاسمنت فى الأعمال الهامة التى تتطلب سرعة فى الحصول على المقاومة .

(حـ) الأسمنت البورتلاندى الأبيض

(White portland Cement)

يصنع الأسمنت البورتلاندى الأبيض بنفس الطريقة المعتادة فى الأسمنت البورتلاندى العادى والمواد الخام الداخلة فى تركيبه هى الحجر الجيرى والطين الأبيض . ويرجع تميز هذا الاسمنت بلونه الابيض إلى أن نسبة أكاسيد الحديد و / أو المنجنيز به لا تزيد على ٠,٥ ٪ وهذه الاكاسيد التى توجد بنسب أكبر فى الاسمنت البورتلاندى العادى يرجع إليها اللون الرمادى الذى يتميز به هذا الأسمنت .

ويصنع الأسمنت البورتلاندى الأبيض المصرى من الحجر الجيرى النقى من محاجر منطقة سمالوط ومن الرمل الزجاجى والكاولين والألباستر من محاجر سيناء وهى جميعها على درجة عالية من النقاء . وتتم صناعة الأسمنت الابيض بنفس المراحل التى ينتج بها الاسمنت العادى مع مزيد من العناية والحرص لضمان نقائه والاسمنت البورتلاندى الأبيض المصرى ناصع البياض (درجة بياضه بين ٨٧ ، ٨٨ ٪) .

وتزيد تكاليف الحريق فى كلنكر الأسمنت الأبيض عنها فى الاسمنت العادى وذلك لما يتطلبه هذا الاسمنت من درجة حرارة عالية لانخفاض نسبة الحديد فى الخامات كذلك يجب أن يكون الوقود المستعمل فى الحريق خالياً من البيريت وهذا أيضاً يزيد من تكاليف الحريق .

وتقرب الخواص الكيميائية للاسمنت الابيض من خواص الاسمنت البورتلاندى العادى غير أن نسبة ألومينات حديد رباعى الكالسيوم تقل فى الاسمنت الابيض نتيجة لقلة نسبة الحديد .

وفيما يلى النسب المئوية التركيبات الكيميائية فى الاسمنت الأبيض المثالى :

سليكا	٢٤,٢ ٪	أكسيد حديد	٠,٣٩ ٪
ألومينا	٤,٢ ٪	أكسيد كالسيوم	٦٥,٨ ٪

أكسيد مغنسيوم	١,١ ٪	انهيدريت الكبريت	١,٥ ٪
أكسيد منجنيز	٠,٠٢ ٪	الفاقد بالحريق	٢,٤ ٪

أما النسبة المئوية للمركبات الرئيسية لهذا الأسمنت فهي كالآتي :

سليكات ثلاثي الكالسيوم ٥٠,٨ ٪ — ألومينات ثلاثي الكالسيوم ١٠,٣ ٪

سليكات ثنائي الكالسيوم ٢١,٥ ٪ — ألومينات حديد رباعي الكالسيوم ١,٢٠ ٪

وللاحتياط عند الطحن من اختلاط أي نسبة حديد من كور طحن الكلنكر تستعمل كور طحن من سبيكة من النيكل والمنجنيز والموليبدنم بدلا من الصلب أو الحديد .

ويمكن تلخيص وجوه استعمالات الأسمنت البورتلاندي الأبيض فيما يلي :

— البلاط بكافة أنواعه .

— الموازييك بمختلف تشكيلاته كالبلاط والأعمدة وبلاطات الواجهات ودرج السلم والأرضيات والحوائط والأسقف وأحواض الزهور والزينة والسباحة والتماثيل .

— تغطية الأسطح الخارجية للمباني بمونة الأسمنت الأبيض أو الملون بأشكاله المختلفة .

— لصق الرخام والسيراميك والطوب الزجاجي والأدوات الصحية وغيرها .

— الحجر الصناعي وجميع أنواع المصبوبات .

— أرصفة الطرق وعلامات المرور الأرضية بالطرق والمطارات .

— ترميم الآثار وأعمال التماثيل والنافورات وغيرها .

(ى) الأسمنت البورتلاندي الملون

(Coloured Portland Gement)

يتكون هذا الأسمنت من إضافة صبغات المواد غير الفعالة إلى الأسمنت الأبيض أو البورتلاندي العادي ويشترط في هذه المواد المضافة عدم تأثرها بالجير وألا يتغير لونها بتعرضها المستمر للجو . وكذلك يجب ألا تحتوي على أنواع من الجبس الضار بالخرسانة . ولا تفي الأصباغ العضوية عادة بهذه الشروط ولذلك لا تدخل في الأسمنت الملون بل يستعمل بدلا منها الأصباغ المعدنية حيث تضاف هذه المواد عند طحن الكلنكر . ويجب ألا تزيد هذه الاصباغ عن ١٠ ٪ من وزن الأسمنت إذ أن زيادة هذه النسبة تقلل من مقاومة الخرسانة وتزيد من معامل انكماشها . ومعظم

الألوان المستعملة هى الأحمر والأصفر والبنى حيث تتكون من أكاسيد الحديد وكذلك اللون الأخضر الفاتح الذى يمكن الحصول عليه بإضافة أكسيد الكروم . ويمكن الحصول على الألوان الفاتحة من هذه الألوان بإضافة الأسمنت الأبيض . أما اللون الرمادى والغامق فيمكن الحصول عليه بإضافة كمية قليلة من الكربون الأسود .

(هـ) الأسمنت البورتلاندى ذو الهواء المحبوس
(Air - Entrained Portland Cement)

عند تواجد كمية من الهواء المحبوس فى الخرسانة بنسبة تتراوح بين ٣ إلى ٧ ٪ بالحجم وجد أن بعض خواص هذه الخرسانة تتحسن بدرجة كبيرة ويمكن الحصول على هذا النوع من الخرسانة بإنتاج الأسمنت ذى الهواء المحبوس الذى يتكون من إضافة مواد معينة للكلنكر عند الطحن لتعطى هذه الخاصية .

ويستعمل الأسمنت ذو الهواء المحبوس فى الخرسانة المتعرضة للتأثيرات الجوية المختلفة إذ تحتوى هذه الخرسانة على بلايين الفقاعات الصغيرة فى المتر المكعب الواحد ويساعد وجود هذه الفقاعات على تقليل ظاهرة النضح وتحسين خاصية التشغيل فى الخرسانة والتقليل من التغيرات الحجمية . ومع أن الهواء المحبوس يقلل من مقاومة الخرسانة إلا أن هذه الخاصية يمكن تفاديها أو إقلالها إذا ما اتبعت الاحتياطات الكافية فى تكوين خلطة الخرسانة بالطرق الصحيحة .

(و) الأسمنت البورتلاندى السدود للماء
(Water - tight Portland Cement)

يمكن الحصول على الأسمنتات المانعة لنفاذ الماء بإضافة المواد غير المنفذة عند طحن الكلنكر مثل « الستريت » الذى يضاف بنسبة حوالى ٢ ٪ بالوزن وهو عبارة عن ملح حامض الاسيتيك وهو حامض عضوى دهنى .

ومن المعروف أن ستيرات الصوديوم والبوتاسيوم والألومنيوم تذوب فى الماء . فعند استعمال ستيرات الصوديوم فى الخرسانة يحدث تفاعل مزدوج بين الكالسيوم الموجود فى الماء والصوديوم الموجود فى الستيرات مكوناً ستيرات الكالسيوم غير القابلة للذوبان فى الماء والتى تعمل على طرد الماء وتعطى للاسمنت خاصية عدم نفاذيته للسوائل وقد تقلل إضافة هذه المواد من مقاومة الخرسانة ولكن يمكن التغلب على ذلك بزيادة محتوى الأسمنت ويجب ملاحظة العناية الفائقة فى إنتاج هذا النوع من الخرسانة .

(ز) الاسمنت المقاوم البكتريا

(Anti - Bacteria Portland Cement)

عند طحن الكلنكر وإضافة أى مادة إليه مقاومة البكتريا يكتسب الاسمنت هذه الخاصية . وقد كانت مشكلة تآكل أرضيات مصانع الاغذية من المشاكل الرئيسية لهذه المصانع حتى أنه كان لا يستغرب تغيير الارضيات كل ستة أشهر . وقد وجد أن الاحماض العضوية تتفاعل مع مكونات الاسمنت وتذيبها بالإضافة إلى عمليات التخمر التى تزيد من تآكل الارضيات . .

ويفضل استعمال هذه الانواع من الأسمنت فى أرضيات وجدران مصانع الاغذية مثل مصانع الألبان والبيرة ومعبئة المأكولات وحمامات السباحة .

(ح) أسمنت بورتلاندى آبار البترول

(Oil Well Portland Cement)

نظراً للاكتشافات المتوالية لآبار البترول فقد أصبح من الضرورى دراسة كل ماهو متعلق بهذه الآبار ومنها الاسمنت الذى سيستعمل فى بنائها شكل رقم (٢ — ٢٣).

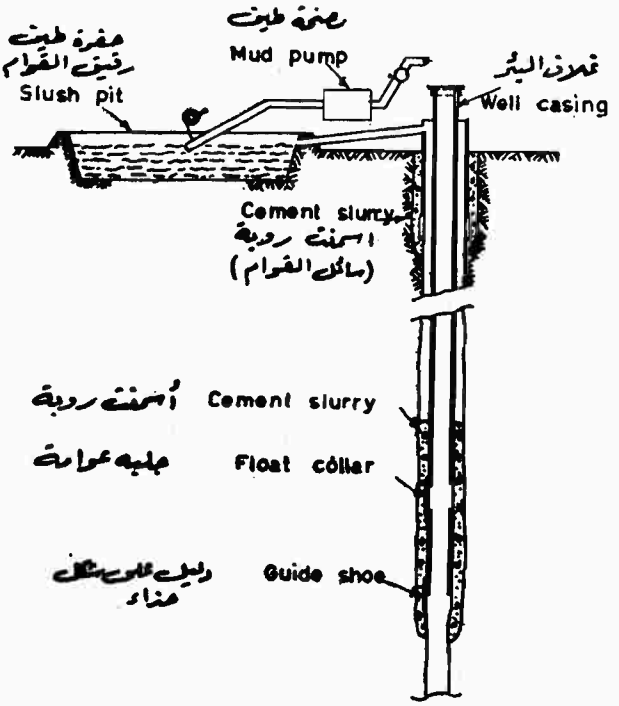
وقد أمكن الوصول إلى هذا النوع من الاسمنت بإضافة مواد عند طحن الكلنكر تتحكم فى زمن الشك وقد استعمل الاسمنت لاول مرة فى بناء آبار البترول حوالى سنة ١٩٠٧ - ١٩٠٨ وكان استعمال الاسمنت العادى يعوق استخراج البترول نتيجة انتظار تصلد الاسمنت لدرجة كافيه يمكنها من تحمل الإجهادات ، وهناك نوعان من أسمنت آبار البترول :

١ — الاسمنت عادى الشك : ويستعمل فى الآبار التى تصل إلى عمق ٦٠٠٠ قدم .

٢ — الاسمنت بطىء الشك : ويستعمل فى الآبار التى تصل إلى أعماق مابين ٦٠٠٠ إلى ١٦٠٠٠ قدم وذلك لانه لو استعمل الاسمنت العادى لهذه الاعماق الكبيرة فإنه سيتأثر بالحرارة والضغط ويشك بسرعة قبل أن يتم ضخه إلى المكان المطلوب .

وقد استعملت مركبات الجبس الكازين كمبطئات الشك بدلا من الجبس ولكن لم تنجح أى من هاتين المادتين فى الاعماق التى تزيد عن ١٦٠٠٠ قدم . وبعد ملاحظة أن ألومينات ثلاثى الكالسيوم هى المسئولة عن الشك والتصلد السريع فى الاسمنت فقد استعملت أسمنتات ليس بها هذا المركب ونجحت هذه الانواع فى عمليات الضغط التى تتطلب أوقاتاً طويلة . ويمكن الحصول على هذا النوع من الاسمنت بإضافة كميات

كافية من خام الحديد الذى يتحد مع الألومينا مكوناً ألومينات حديد رباعى الكالسيوم وأحيانا حديد ثنائى الكالسيوم وينحصر دور أسمنت آبار البترول فى الأعمال الآتية :



COMPLETED OIL WELL CASING CEMENTING JOB

عمل غلاف اسمنتى لبئر زيت كامل

شكل رقم (٣ — ٣٣)

— منع الماء من التخلل إلى الرمال المحتوية على البترول .

— منع انفجار البترول والغاز بعوامل الضغط العالى .

— حماية ماسورة البئر من التآكل بالماء .

— تقليل إجهادات الشد على ماسورة البئر .

— منع انهيار البئر .

(ط) الأسمنت البورتلاندى خبث الأفران العالية (الأسمنت الحديدى) *

(Blast Furnace Slag Portland Cement)

اكتشف أميل لانجنز (Emil Langenes) فى سنة ١٨٦٢ خاصية تحبب خبث الافران العالية (الجلخ) فى صناعة الحديد والصلب ، وذلك عندما يبرد بالماء ، ومن المعروف أن خام الحديد يحتوى على نسبة كبيرة من الطين بالإضافة إلى الحجر الجيرى الذى يستخدم كعامل مساعد (Flux) فى صناعة الحديد بطريقة الفرن العالى ونتيجة لذلك تتوفر كميات كبيرة من خبث الحديد فى مصانع الحديد والصلب ويكون تركيبه الكيميائى بصفة عامة كما يلى :

* الاسم التجارى المصرى للأسمنت البورتلاندى خبث الأفران العالية .

السليكا (الرمل) : من ٣٠ إلى ٤٠ ٪ ± ٣ ٪
الألومينا (الكاولينا) : من ٨ إلى ١٨ ٪ ± ٢ ٪
أكسيد الكالسيوم (الجير) : من ٤٠ إلى ٥٠ ٪ ± ٣ ٪

وهذا التكوين يشبه إلى حد كبير ما ينتج من تكليس الحجر الجيرى والطين ، وإذا كانت نسبة أكسيد الكالسيوم فى جلخ الحديد عالية ، فعند طحنه يعطى أسمنتاً حقيقياً .

وكانت ألمانيا من أوائل الدول التى استعملت جلخ الحديد فى إنتاج الاسمنت تجارياً وكان ذلك فى سنة ١٨٦٥ ، وفى سنة ١٨٦٢ استعمل الجلخ لأول مرة فى ألمانيا فى إنتاج الأسمنت البورتلاندى الحديدى ووضعته فى مواصفاتها القياسية (DIN - 1164) ونصت فيها على المعادلة المشهورة التى تحدد نسبة الأكاسيد الموجودة فى الجلخ المستعمل فى صناعة الأسمنت ، وهى :

$$\frac{\text{أكسيد الكالسيوم} + \text{أكسيد المغنسيوم} + \text{أكسيد الألومنيوم}}{\text{أكسيد السليكون}} \leqslant ١$$

وقد اختلفت نسبة الجلخ الداخل فى تركيب الأسمنت البورتلاندى الحديدى طبقا للمواصفات القياسية من دولة إلى أخرى ، ويتنوع الأسمنت البورتلاندى الحديدى الذى يختلف فى خواصه تبعاً لاختلاف هذه النسب وتحدد المواصفات القياسية البريطانية (B. S. 146) الحد الأعلى لنسبة الجلخ فى الاسمنت الحديدى بمقدار ٦٥٪ أما فى المواصفات القياسية الامريكية فتتراوح هذه النسبة بين ٢٥ و ٦٥٪ .

وبالنسبة لما اتبع فى مصر فقد أجريت الاختبارات على عدة خلطات بنسب مختلفة من الجلخ والكلنكر وأثبتت نتائج هذه الاختبارات أن إضافة الجلخ بنسبة ٣٥٪ تعطى أسمنتا يتفق مع المواصفات القياسية للاسمنت البورتلاندى الحديدى .

وفيما يلى نتيجة متوسطة التحليل الكيميائى لخبث الفرن العالى بإنتاج شركة الحديد والصلب المصرية :

أكسيد السليكون = ٣٣,٦٧ ٪
أكسيد الحديد = ٠,٥٦ ٪
أكسيد المغنسيوم = ٢,٩٥ ٪
الكبريت = ١,٢٠ ٪
أكسيد الالومنيوم = ١٣,٦٤ ٪
أكسيد الكالسيوم = ٤٥,٤٨ ٪
أكسيد المنجنيز = ١,١٥ ٪

ويصنع الاسمنت البورتلاندى الحديدى ٣٥ المصرى بإضافة الجلخ إلى الكلنكر بحيث تكون نسبة الجلخ ٣٥ ٪ من المخلوط ، ويضاف الجبس بالنسب المناسبة (حوالى ٤ ٪) للتحكم فى زمن الشك ، وهى متقاربة من النسب التى تضاف إلى الاسمنت البورتلاندى العادى ، لذلك نجد أن قمع التغذية فوق الطاحونة مقسم إلى ثلاثة أقسام بدلا من قسمين كما فى صناعة الاسمنت البورتلاندى العادى ولا توجد أى احتياطات أو اختلاف فى صناعة الاسمنت البورتلاندى الحديدى ٣٥ عن الاسمنت البورتلاندى العادى غير دخول الجلخ كعنصر ثالث للطاحونة .

واستعمالات الاسمنت البورتلاندى الحديدى هى نفس استعمالات الاسمنت البورتلاندى العادى ، لذلك يمكن استعماله فى الاعمال الخرسانية التى يدخل فيها الاسمنت البورتلاندى العادى ، ويتصف الاسمنت البورتلاندى الحديدى الذى ينتج طبقا للمواصفات القياسية بما يلى :

١ ــ حرارة الإماهة أقل من الحرارة الناتجة من الاسمنت البورتلاندى العادى لذلك يمكن استعماله فى الخرسانة ذات القطاعات الكبيرة .

٢ ــ مقاومة الاسمنت البورتلاندى الحديدى لفعل ماء البحر والكبريتات لاحتوائه على كمية أقل من أكسيد الكالسيوم ونسبة أعلى من السليكا ، لذلك يوصى باستعماله فى الإنشاءات البحرية والنهرية .

٣ ــ زيادة معدل مقاومة خرسانة الاسمنت البورتلاندى الحديدى فى الازمنة البعيدة .

٤ ــ الاسمنت البورتلاندى الحديدى أرخص من الاسمنت البورتلاندى العادى .

اشتراطات المواصفات المصرية للاسمنت البورتلاندى الحديدى :

(ا) الخواص الطبيعية والميكانيكية :

١ ــ النعومة :

لا تزيد نسبة المتبقى على المنخل القياسى ٠,٠٩ مم (منخل قياسى رقم ١٧٠) على ١٠ ٪ بالوزن أولا تقل المساحة النوعية للسطح على ٢٢٥٠ سم٢/ جم وذلك عند إجراء إختبار النعومة بطريقة (بلين) لتعيين المساحة النوعية للسطح .

٢ ــ زمن الشك :

لايقل زمن الشك الابتدائى عن ٤٥ دقيقه ولايزيد زمن الشك النهائى على ١٠ ساعات

٣ ــ ثبات الحجم :

لايزيد تمدد الأسمنت البورتلاندى الحديدى على ١٠ مم وذلك عند إجراء الاختبار بطريقة لوشاتلييه على عجينة الأسمنت الخالص ذات القوام القياسى ، وفى حالة مطابقة الأسمنت لهذا الشرط يعاد اختبار ثبات الحجم على عينة من نفس الأسمنت بعد تهويته لمدة سبعة أيام وذلك بفرشه بارتفاع ٧٥ مم تقريبا على سطح جاف فى جو رطوبته النسبية ٥٠ إلى ٨٠٪ وفى هذه الحالة لايزيد تمدد الأسمنت عن ٥ مم .

٤ ــ مقاومة الضغط :

لايقل متوسط الضغط لثلاثة مكعبات (مساحة سطح المكعب ٥٠سم٢) من مونة الاسمنت (١ أسمنت : ٣ رمل قياسى بالوزن) عما يأتى :

مقاومة الضغط بعد ٣ أيام (٧٢ ± ساعة واحدة) ١١٢ كجم / سم٢ .

مقاومه الضغط بعد ٧ أيام (١٦٨ ± ساعتان) ٢١٠ كجم / سم٢ وبحيث تكون أكبر من مقاومة الضغط بعد ٣ أيام .

وفى حالة اختبار مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوما تكون هذه المقاومة ٣٥٠ كجم/سم٢ على الأقل وبحيث تكون أكبر من مقاومة الضغط بعد ٧ أيام .

(ب) التركيب الكيميائى :

١ ــ يكون الكلنكر الداخل فى تركيب الأسمنت البورتلاندى الحديدى مطابقاً لما نصت عليه المواصفات القياسية المصرية الخاصة بالأسمنت البورتلاندى العادى والاسمنت البورتلاندى سريع التصلد.

٢ ــ يكون الاسمنت البورتلاندى الحديدى الناتج مطابقا للاشتراطات الآتية :

(ا) لاتزيد نسبة المواد غير القابلة للذوبان على ١,٥٪ بالوزن .

(ب) لاتزيد نسبة الماغنيزيا على ٧٪ بالوزن .

(حـ) لاتزيد نسبة ثالث أكسيد الكبريت على ٣٪ ولاتزيد نسبة الكبريت الموجود على هيئة كبريتيد على ١,٥٪ ويجب ألايزيد مجموع نسبة ثالث أكسيد

الكبريت والكبريت الحر مقدراً على هيئة ثالث أكسيد الكبريت على ٦,٧٥٪ بالوزن.

(ى) لايزيد الفقد بالحرق على ٤٪ بالوزن .

سابعا ـ بعض الأنواع الاخرى من الاسمنت

(١) الاسمنت الطبيعى

(Natural Cement)

١ ـــ تعريف :

الاسمنت الطبيعى هو المادة الناتجة عن طحن الحجر الجيرى الطفلى كامل التكليس طحناً جيداً ناعماً بحيث لاتزيد نسب المواد المضافة النقية بعد التكليس عن ٥٪ .

ويجب ألا تزيد درجة حرارة التكليس عن الدرجة المطلوبة لإخراج غاز ثانى أكسيد الكربون من الحجر الجيرى .

ويصنع الاسمنت الطبيعى بتكليس الحجر الجيرى الطفلى الطبيعى المحتوى على نسبة كافية من الالومينا والسليكا والتى ينتج عنها بعد التكليس مادة سليكات الكالسيوم وألومينات الكالسيوم التى لها القدرة على التصلد عند إضافة الماء معطية هذه المادة خواصها الاسمنتية . وتصل درجة الحرارة اللازمه للتكليس إلى ١٣٠٠م ويطحن كلنكر الاسمنت الطبيعى طحناً ناعماً بحيث يمر ٨٥٪ من ناتج الطحن من منخل ٢٠٠ .

٢ ـــ أحجار الاسمنت الطبيعى :

الحجر الجيرى الطفلى الطبيعى الذى يصلح لصناعة الاسمنت الطبيعى هو الذى تدخل فيه الطفلة بنسبة تتراوح بين ١٣٪ ، ٣٥٪ وتصل نسبة السليكا بين ١٠٪ ـــ ٢٠٪ بالإضافة إلى النسبة المناسبة من أكسيد الالومينا وأكسيد الحديد . وتنتج الخواص الهيدروليكية للأسمنت نتيجة لوجود هذه المادة الطفلية .

وقد تحل كربونات المغنسيوم محل كربونات الكالسيوم وذلك إلى درجة ما وينتج عن ذلك أن تحل المغنيسيا محل الجير المسحوق الناتج وذلك حسب نسبة دخوله فيها قبل التكليس .

٣ ـــ صناعة الاسمنت الطبيعى :

ويؤخذ الحجر من الطبقة السطحية للحجر ثم تكسر إلى مقاسات مناسبة للفرن

(قمينة الاحتراق) . ثم تحمل هذه الأحجار المكسرة فى عربات وترفع إلى فوهات الأفران بحيث تخلط بفحم الكوك أو تشحن القمينة بطبقات متبادلة من الحجر والفحم ويتم شحن القمينة بهذه الطبقات من الفحم والحجر طوال النهار بدون توقف وبقدر المستطاع فى الليل . وبينما تأخذ الشحنات طريقها إلى قاع الفرن فإنها تتكلس طاردة منها أكبر جزء من ثانى أكسيد الكربون .

وعندما تصل إلى قاع الفرن فإنها تخرج منه على هيئة كلنكر لينقل إلى مكنات الطحن ويحتوى الكلنكر الناتج فى معظم الأحيان على جير حى ويمكن القضاء على هذا الجير الحى بمعالجته بالطفى عادة بالرش بالماء أو معالجة الكلنكر بالبخار ثم يكسر الكلنكر فى بعض أنواع من الكسارات وينقل بعدها ليتم طحنه فى أى نوع من الأنواع العديدة لمكنات الطحن مثل طواحين الكرات أو الطواحين الإسطوانية .

والتغيرات الكيميائية التى تحدث أثناء التكليس يمكن اختصارها فيما يلى :

يتبخر الماء الموجود بالحجارة أولا وعند درجة ٨٠٠° م تنفصل كربونات الماغنسيوم ثم يخرج ثانى أكسيد الكربون عند درجة ٩٠٠° ثم تنفصل حينئذ كربونات الكالسيوم. وعند درجة حرارة تتراوح بين ٩٠٠°م ، ١٠٠٠°م تتحلل الطفلة وتتكون حينئذ ألومينات الجير ومركبات الجير الحديدية كذلك المغنيسيا وأخيراً وعند درجة حرارة ١٣٠٠°م تتكون سليكات الكالسيوم وسليكات المغنيسيا .

٤ ــ خواص الأسمنت الطبيعى :

توجد اختلافات واضحة فى خواص الأسمنت الطبيعى المنتج فى المناطق المختلفة وذلك للفروق الشاسعة فى المواد الخام الداخلة فى تكوينه .

ويجمع الأسمنت الطبيعى فى خواصه بين الجير الهيدروليكى والأسمنت البورتلاندى ويختلف عن الجير الهيدروليكى فى أنه لا يطفأ عند إضافة الماء إليه ويختلف عن الأسمنت البورتلاندى فى درجة الحرارة المنخفضة اللازمة لعملية التكليس وكذلك فى سرعة الشك بالاضافة إلى أن له نصف مقاومة الأسمنت البورتلاندى .

ويمكن أن تتضح معالم الفروق بين الأسمنت الطبيعى والبورتلاندى من الجدول رقم (٢ ــ ٧) .

جدول رقم (٢ — ٧) الفرق بين الاسمنت الطبيعى والبورتلاندى العادى

الخاصية	الاسمنت الطبيعى	الاسمنت البورتلاندى
المواد الخام	حجر جيرى طفلى طبيعى	مخلوط صناعى من الحجر الجيرى والطين
درجة التكليس	منخفضة	عالية نسبياً
المكونات الكيماوية	مختلفة وغير متحكم فيها	متحكم فيها فى حدود ضيقه
اللون	عادة أصفر ضارب إلى البنى	عادة رمادى أزرق
الكثافه النوعية	٢,٧ إلى ٣,١	٣,١ إلى ٣,٢
معدل الشك	عادة سريع	بطىء نسبياً
المقاومة	منخفضة	عالية نسبياً

٥ — المكونات الكيميائية :

ويمكن بيان متوسط قيم العناصر الداخلة فى تكوين الانواع المتعددة من الاسمنت الطبيعى من الجدول رقم (٢ — ٨)

جدول رقم (٢ — ٨) نسبة تكوين العناصر المكونة للأسمنت الطبيعى

المركب	نسبة التكوين
أكسيد السليكا	٢٢,٣ — ٢٩٪
أكسيد الالومينا	٥,٢ — ٨,٨٪
أكسيد الحديد	١,٤ — ٢,٣٪
أكسيد الكالسيوم	٣,١ — ٥٧,٦٠٪
أكسيد المغنسيوم	١,٤ — ٢١,٥٠٪

ويمكن أن نلاحظ ان مكونات الاسمنت الطبيعى تختلف اختلافات بينة ويصحب هذا الاختلاف الواسع فى المكونات اختلافات واضحة فى الخواص الميكانيكية للاسمنت الطبيعى .

٦ ــ الكثافة النوعية:

تقل الكثافة النوعية للأسمنت الطبيعى قليـــلا عن الكثافة النوعية للأسمنت البورتلاندى العادى وتكون الكثافة النوعية المتوسطة للأسمنت الطبيعى حوالى ٢,٩٥.

٧ ــ زمن الشك :

بمقارنة الأسمنت الطبيعى والبورتلاندى من ناحية زمن الشك نجد أن الأسمنت الطبيعى يتصف بسرعة الشك . وتحدد المواصفات القياسية بألا يقل زمن الشك الابتدائى عن عشر دقائق باستعمال جهاز فيكات وكذلك يجب ألا يزيد الشك النهائى عن عشر ساعات

وإضافة الجبس أو المصيص تؤثر تأثيرا كبيراً على تبطيء زمن الشك فى الأسمنت الطبيعى وتختلف درجة تبطيء الشك مع كمية الجبس المضافة باختلاف المكونات الكيميائية للأسمنت الطبيعى .

٨ ــ مقاومة الشد :

تختلف مقاومة الشد كباقى الخواص الطبيعية الخاصة بالأسمنت الطبيعى ولا تختلف مقاومة الشد فقط عند مقارنته بأسمنت من مناطق أخرى ولـكن يختلف باختلاف العينات المأخوذة فى أوقات متفرقة من إنتاج نفس المنطقة ونفس المصنع .

وتحدد المواصفات القياسية الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد القيم التالية كحد أدنى لمقاومة الشد والضغط والنعومة .

(ا) مقاومة الشد :

تجرى الاختبارات على طوبات من مونة قياسية مكونة من جزء واحد من الأسمنت الطبيعى وجزءين من الرمل بالوزن . ويجب ألا تقل مقاومة الشد عما يأتى :

ــ بعد يوم واحد فى الهواء الرطب وستة أيام فى الماء.. تكون مقاومة الشد ٥,٢٥ كجم/سم٢

ــ بعد « « « « و٢٧ يوما فى الماء.. تكون مقاومة الشد ١٠,٥ كجم/سم٢

(ب) مقاومة الضغط :

تجرى الاختبارات على مكعبات مكونة من جزء واحد من الأسمنت الطبيعى وجزء واحد من الرمل بالوزن ويجب ألا تقل مقاومة الضغط عن القيم التالية:

ــ بعد يوم واحد فى الهواء الرطب وستة أيام فى الماء مقاومة الضغط المطلوبة ٣٥ كجم / سم٢

ــ « « « « « و٢٧ يوما فى الماء مقاومة الضغط المطلوبة ٧٠ كجم/سم٢

(حـ) النعومة :

تحدد القيمة المتوسطة للمساحة النوعية للسطح بطريقة بلين بحيث لاتقل عن ٦٠٠٠ سم٢ / جم على ألا تقل القيمه المطلوبة عن ٥٥٠٠ سم٢ / جم لأى عينة .

ويحتاج الأسمنت الطبيعى إلى زيادة كمية ماء الخلط للوصول إلى العجينة القياسية ويشك بسرعة ولكن بحرارة منبعثة أقل من تلك الناتجة فى الاسمنت البورتلاندى.

ويختلف زمن الشك الابتدائى بين ١٥ دقيقة وساعة واحدة وزمن الشك النهائى يحدث غالباً بعد ثلاث ساعات. ومن المعروف أن زيادة كمية الماء المضاف للعجينة عن النسب القياسية يبطئ من زمن الشك فى عجائن المون المكونة من الاسمنت الطبيعى كذلك تعمل التهوية على تبطىء زمن الشك فى الاسمنت الطبيعى .

ويعمل تعريض الاسمنت الطبيعى للجو على تقليل مقاومة المونة المستعمل فى تركيبها هذا الاسمنت المهوى . وتزيد مقاومة الشد للاسمنت الطبيعى بمضى الزمن .

٩ ــ استعمالات الاسمنت الطبيعى :

كان الأسمنت الطبيعى يستعمل على نطاق واسع حتى ابتداء القرن العشرين وذلك فى الخرسانات التى لاتتطلب مقاومة عالية .

ونتيجة للمقاومة السريعة والمتفوقة التى يمكن الحصول عليها من الأسمنت البورتلاندى فقد تضاءل استعمال الاسمنت الطبيعى . وقد أزيح الأسمنت الطبيعى من طريق الأسمنت البورتلاندى وذلك لما يتميز به الأخير من المكونات والخواص ذات القيم الثابتة بالرغم من أن تكاليف الأسمنت الطبيعى تقل من ٢٠ ٪ إلى ٣٠ ٪ عن تكاليف صناعة الاسمنت البورتلاندى .

وعندما يتطلب الاقتصاد فى التكاليف فإن الاسمنت الطبيعى يستعمل بدلا من الاسمنت البورتلاندى فى المون والخرسانات اللازمة للاساسات الثقيلة والتى لاتكون عرضة لإجهادات كبيرة ، وكذلك يستعمل الاسمنت الطبيعى فى عمليات الملء لأعمال المبانى ذات القطاعات الضخمة .

ويجب ألا يستعمل الأسمنت الطبيعى فى المواقع المعرضة لإجهادات كبيرة وألا يستعمل تحت الماء وهو غير مناسب للاستعمال فى الأعمال البحرية .

(ب) الأسمنت عالى الألومينا

(High Alumina Cement)

صنع هذا النوع من الأسمنت فى اول مرة فى فرنسا تحت اسم « أسمنت فوندى » ويطلق عليه عادة اسم (الأسمنت الألومينى) . والمواد الخام التى يتكون منها هى المواد الجيرية والمواد الألومينية (الجير والبوكسيت) ويصنع هذا الأسمنت بصهر هذه المواد إلى درجة السيولة ثم يبرد الناتج ويطحن طحنا ناعما ولا تضاف أى مادة أخرى بعد صهر المواد الخام سوى الماء .

وتعتبر نسبة الألومينات فى هذا الأسمنت عالية حيث يتراوح مقدارها من ٣٥ إلى ٤٤٪ ويتسبب عن وجودها سرعة كبيرة فى تصلد الأسمنت وحصوله على مقاومته القصوى بسرعة فائقة حيث يتم ذلك فى مدة ٢٤ ساعة فى حين أن الأسمنت البورتلاندى العادى يحتاج للوصول إلى معظم مقاومته لفترة ٢٨ يوما . وترجع عمليتا الشك والتصلد فى الأسمنت الألومينى إلى تكون ألومينات أحادى الكالسيوم والتى يصحبها ارتفاع كبير وسريع فى درجة الحرارة ويفضل الأسمنت الألومينى أى نوع من الأسمنت البورتلاندى فى مقاومة الكبريتات والأحماض المخففة وماء البحر .

ومن أخطر عيوب الاسمنت الالومينى أنه يفقد جزءا من مقاومته للضغط إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى أكثر من حوالى ٣٠°م وهذا الفقد يحدث سواء كان ارتفاع درجة الحرارة اثناء الشك والتصلد أو حتى بعد عملية التصلد . لهذا لا يستخدم الاسمنت الالومينى فى الاجواء الحارة أو شبه الحارة .

ويجب أخذ كل الاحتياطات لإبعاد شكاير الاسمنت الالومينى عن الاسمنت البورتلاندى العادى حيث يتسبب عن وجود أى كمية صغيرة من أحدهما فى الآخر سرعة فائقة فى الشك وضعف فى المقاومة ، كما يجب عدم استخدام الاسمنت الالومينى فى الانشاءات الكتلية نتيجة الحرارة الكبيرة التى تنبعث عند التفاعل . وقد يكون لهذه الحرارة فائدة فى الاجواء الباردة جداً حيث تساعد على استمرار عمليتى الشك والتصلد اللتين قد تتأخران أو ربما تتوقفان فى الاسمنتات الاخرى . وتكاليف هذا الاسمنت تعادل حوالى ثلاثة أمثال الاسمنت البورتلاندى العادى . ويشير التحليل الكيميائى للاسمنت عالى الالومينا إلى التركيب الآتى :

سليكا	٣ — ٨٪	أكسيد حديد	١٤ — ١٨٪

ألومينا	٣٧ — ٣٩ ٪	جير	٣١ — ٤١ ٪
ماغنيزيا	٠,٧٥ — ١ ٪	كبريت	٠,٥ — ١,٥ ٪

أما خواصه الطبيعية وفقا للمواصفات القياسية فتتلخص فيما يلى :

النعومة : لا يزيد المتبقى على المنخل القياسى ٠,٠٩ مم (منخل رقم ١٧٠) عن ٨٪
أو لا تقل المساحة النوعية للسطح عن ٢٢٥٠ سم٢/ جم

الشك : لا يقل زمن الشك الابتدائى عن ساعتين ولا يزيد عن ست ساعات .
أما الشك النهائى فيجب ألا يقل عن ساعتين بعد زمن الشك الابتدائى .

الثبات : لا يزيد التمدد (لو شاتلييه) عن ١ مم

مقاومة الضغط: بعد يوم واحد لا تقل عن ٤٢٠ كجم / سم٢
بعد ثلاثة أيام لا تقل عن ٤٩٠ كجم/سم٢

(ح) الأسمنت المخلوط (كرنك) *

يتكون الاسمنت المخلوط من المكونات الآتية :

١ — كلنكر أسمنت بورتلاندى عادى .

٢ — مادة غير فعالة مثل الرمل أو البازلت أو الحجر الجيرى أو الرملى أو الجرانيت أو خبث الحديد المبرد هوائيا .

٣ — جبس يضاف بالنسب العادية كمادة مبطئة للشك .

ويصنع الأسمنت المخلوط بطحن المكونات بعد خلطها جميعا بالنسب المقررة وذلك فى طواحين الاسمنت العادية إلى درجة النعومة المطلوبة . وتفضل هذه الطريقة فى حالة المواد المضافة الصلدة نوعاً حيث تساعد هذه المواد على طحن الكلنكر إلى نعومة عالية دون الحاجة إلى طاقة طحن إضافية ، وهذه الطريقة هى المستخدمة محلياً لإنتاج أسمنت الكرنك .

وينتج الاسمنت المخلوط فى كثير من الدول من بينها الولايات المتحدة الامريكية والصين ورومانيا وشيلى والملايو والارجنتين ، ووضعت بعض هذه الدول مواصفات قياسية خاصة بأنواع الاسمنت المخلوط التى تنتجها .

وتبين الدراسات أن أنواع الاسمنت المخلوط المحتوية على ١٠ ، ٢٠ ، ٣٥ ٪ من الرمل المطحون إلى نفس نعومة الاسمنت البورتلاندى العادى تقل مقاومتها

* الاسم التجارى المصرى للاسمنت المخلوط .

الضغط عن تلك الخاصة بالأسمنت البورتلاندى العادى بمقدار ١٠ ، ٢٥ ، ٥٠ ٪ على التوالى .

كما وجد أن إضافة بعض الأنواع الخاصة من الأحجار الصلدة بنسبة صغيرة (٣٪) تزيد من مقاومة الضغط وقد يعزى ذلك إلى أن هذه الإضافة تساعد على عملية طحن الكلنكر . كما وجد أن الاضافة بنسبة ١٠ ٪ ليس لها تأثير على مقاومة الضغط فى حالة بعض أنواع الكلنكر بينما تؤثر على بعض الأنواع الأخرى من الكلنكر بتخفيض يبلغ ١٠ — ١٥ ٪ . وهذا يبين بوضوح أن تأثير الاضافات المستخدمة فى الأسمنت المخلوط يتوقف إلى درجة كبيرة على نوع الكلنكر المستخدم ومدى تأثير هذه الاضافات على قابلية الكلنكر للطحن .

دور عملية الطحن فى جودة الأسمنت المخلوط :

يتراوح المقاس الحبيبى للاسمنت العادى بين ٥٫٠ و ٢٠٠ ميكرون ويكون حوالى ٦٥ ٪ منه أقل من ٣٠ ميكرون وعند خلطه بالماء تبدأ تفاعلات الإماهة من سطح الحبيبات إلى داخلها ويتم ذلك تدريجيا بحيث تصل الإماهة إلى عمق ٥٫٠ ميكرون بعد يوم واحد و ١٫٧ ميكرون بعد ٧ أيام . و ٣٫٥ ميكرون بعد ٢٨ يوماً و ٥ ميكرون بعد ٦٠ يوماً حيث تصل نسبة الإماهة فى الأسمنت حينئذ حوالى ٦٠ ٪ ويمكن أن تستمر عملية الإماهة تحت ظروف المعالجة الخاصة إلى حوالى ٩٥ — ٩٨ ٪ بعد ١٠ — ١٢ شهراً . ولكن يعوق استمرار الإماهة إلى هـــذا المدى تكون طبقة جيلاتينية غير منفذة تغطى الجزء الداخلى الحبيبات الكبيرة نوعاً والتى يزيد مقاسها على ٣٠ ميكرون . وتبلغ نسبة هذه الحبيبات الكبيرة فى الأسمنت البورتلاندى العادى حوالى ٣٥ ٪ بالوزن .

ولما كان الأسمنت المخلوط يصنع بطحن كلنكر أسمنت بورتلاندى عادى مع نسبة من مادة مضافة غير فعالة مثل الرمل وذلك إلى نفس نعومة الأسمنت البورتلاندى أو أكثر (مساحة نوعية السطح ٢٧٠٠ — ٣٥٠٠ سم٢/ جم) وفى هذه الحالة تساعد المادة المضافة ـ أثناء عملية الطحن ـ على أن يتم طحن الكلنكر حتى تصبح معظم حبيباته ذات مقاس أقل من ٣٠ ميكرون بينما تكون معظم الحبيبات الكبيرة نوعا ـ والتى يزيد مقاسها على ٣٠ ميكرون — من المادة المضافة إلى الأسمنت المخلوط .

الخواص الطبيعية والكيميائية لاسمنت الكرنك المنتج محليا وحدود استعمالاته :

١ ــ نسبة الرمل السيليسى المطحون مع الكلنكر لا تتجاوز ٢٥٪ بالوزن .

٢ ــ يجب أن يطابق أسمنت الكرنك اشتراطات المواصفات القياسية المصرية للأسمنت البورتلاندى الحديدى .

٣ ــ يستخدم الاسمنت المخلوط (كرنك) حاليا فى جميع مجالات استخدام الاسمنت البورتلاندى العادى وبنفس النسب فيما عدا الخرسانة المسلحة .

ثامنا : مقارنة تركيب وخواص أنواع الاسمنت المختلفة :

بينا فيما عرضناه فى البنود السابقة ملخصاً سريعاً لاهم خواص أنواع الاسمنت المعروفة وقسمناها إلى أنواع تعرف بالبورتلاندى لتشابهها فى تركيبها الكيميائى وأنواع أخرى تختلف كثيراً عن الاسمنت البورتلاندى العادى فى التركيب الكيميائى .

ولقد رأينا أن نتبع هـــذا العرض بعدد من الجداول يمكن من خلالها الوصول إلى مجموعة كبيرة من الاستنتاجات والإلمام بأهم الفروق الرئيسيه بين أنواع الاسمنت المختلفه سواء فى تركيب المواد الخام المستخدمة وطرق الصناعة كما يظهر من الجدول رقم (٢ ــ ٩) أو فى تركيب الاسمنت الناتج نفسه كما يظهر من الجدول رقم (٢ ــ ١٠) أو فى الخواص الطبيعية والكيميائية والميكانيكية كما يتضح فى الجدول رقم (٢ ــ ١١) .

كذلك بينا فى الجدول رقم (٢ ــ ١٢ ــ ا ، ب ، حـ) ملخصاً لخواص بعض أنواع الاسمنت طبقاً للمواصفات القياسية البريطانية والتى تختص بالنعومة وزمن الشك والمقاومة وثبات الحجم والتركيب الكيميائى لنعطى فكرة عن احتياجات العمل الفعلية لكل خاصية من خواص الاسمنت المعروفة ومدى التفاوت فى هذه الاحتياجات .

جدول رقم (٢ — ٩) مقارنة التركيب الكيميائى لبعض أنواع الاسمنت

نوع الاسمنت	مواد الصناعة الرئيسية	طريقة الصناعة	التركيب كنسبة مئوية (الأكاسيد الرئيسة)			
			Ca O	Si O2	Al2 O3	Fe2 O3
بورتلاندى عادى	الحجر الجيرى والطين	تحرق لتتحول إلى كلنكر يطحن	٦٤	٢١	٦	٣
بورتلاندى سريع التصلد			٦٥	٢١	٥	٣
بورتلاندى منخفض الحرارة			٦٢	٢٥	٥	٢
بورتلاندى مقاوم للكبريتات			٦٣	٢١	٤	٦
بورتلاندى خبث الافران العالية	كلنكر أسمنت بورتلاندى مع خبث بنسبة ٣٥ ٪ كنهاية عظمى	يخلط الخبث أثناء الطحن	٦٣	٦١	٩	٢
عالى الالومينا	الحجر الجيرى والبوكسيت	يحمر بالحرارة ثم يطحن	٣٨	٥	٣٨	١٧

ملحوظة :

الارقام المبينة فى هذا الجدول أرقام أساسية وتختلف القيم الفعلية تبعاً لذلك من عبوة إلى أخرى ومن خلطة إلى خلطة .

Ca O = أكسيد الكالسيوم

Si O2 = أكسيد السليكون .

Al2 O3 = أكسيد الالومنيوم

Fe2 O3 = أكسيد الحديد .

جدول رقم (٢ – ١٠) مقارنة التركيب الكيميائى لانواع الأسمنت البورتلاندى

نوع الاسمنت	التركيب كنسبة مئوية		
	C_3S	C_3S	C_3A
منخفض الحرارة	٢٥	٤٥	٦
عادى	٤٠	٣٠	١١
سريع التصلد (سوبركريت)	٥٠	٢١	٩
مقاوم للكبريتات	٤٠	٤٠	٥

ملحوظة : -

١ – C_3S = سليكات ثلاثى الكالسيوم .

C_3S = سليكات ثنائى الكالسيوم .

C_3A = سليكات ثلاثى الالومنيوم .

٢ – يصاحب الزيادة فى نسبة C_3S زيادة فى معدل التصلد للاسمنت .

جدول رقم (٢ – ١١) المقارنة النسبية لخواص أنواع الاسمنت المختلفة

نوع الاسمنت	معدّل تحسن المقاومة	معدّل انبعاث الحرارة	الانكماش بالجفاف	مقاومة التشقق	المقاومة للذيبات الكيميائية
بورتلاندى عادى	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	منخفض
سريع التصلد	عالى	عالى	متوسط	منخفض	منخفض
منخفض الحرارة	منخفض	منخفض	عالى	عالى	متوسط
مقاوم للكبريتات	منخفض متوسط	منخفض متوسط	متوسط	متوسط	عالى
بورتلاندى خبث الأفران العالية	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
عالى الالومينا	عالى جداً	عالى جداً	متوسط	منخفض	عالى جداً
بوزولونى	منخفض	منخفض متوسط	عالى	عالى	عالى

ملخص لخواص بعض أنواع الأسمنت طبقا للمواصفات القياسية البريطانية للأسمنت

جدول رقم (٢ — ١٢ ا) النعومة وزمن الشك

نوع الاسمنت	B.S.S. No.	النعومة		زمن الشك	
		القصوى بالوزن كتبقى على منخل رقم (١٧٠)	الصغرى بالمساحة النوعية السطحية سم٢/جم	الابتدائى لايقل عن	النهائى لايزيد على
بورتلاندى عادى	12/1958	١٠ ٪ : (B S. 1947)	٢٢٥٠	٤٥ دقيقة	١٠ ساعات
سريع التصلد	12/1958	٥ ٪ : (B.S 1947)	٣٢٥٠	٤٥ دقيقة	١٠ ساعات
خبث الافران العالية	146/1958	١٠ ٪ : (BS. 1947)	٢٢٥٠	٤٥ دقيقة	١٠ ساعات
منخفض الحرارة	1370/1958	. . . . .	٣٢٠٠	٤٥ دقيقة	١٠ ساعات
عالى الالومينا	912/1958	٨ ٪ : (BS. 1947)	٢٢٥٠	ساعتان ولا يزيد عن ستة	ساعتان بعد الابتدائى

جدول رقم (٢ — ١٢ ب) مقاومة الضغط

نوع الاسمنت	مقاومة الضغط للمونة (١:٣) (مكعبات) - كجم/سم٢			
	يوم	٣ أيام	٧ أيام	٢٨ يوماً
بورتلاندى عادى	....	١٥٤	٢٣٨	. .
سريع التصلد *	....	٢١٠	٢٨٠	....
خبث الافران العالية	....	١١٢	٢١٠	٣٥٠
منخفض الحرارة	....	٧٧	١٤٠	٢٨٠
عالى الالومينا	٤٢٠	٤٩٠	....	....

* يمكن إجراء اختبار الشد (اختيارى) بعد يوم واحد وذلك عند الطلب ويجب ألا تقل مقاومة الشد بعد يوم واحد عن ٢١ كجم / سم٢ وذلك لمونة الاسمنت سريع التصلد المختبرة .

ملحوظة : كل الاسمنتات تبدى زيادة فى المقاومة مع الزمن .

جدول رقم (٢ — ١٢ ـ) الثبات والتركيب الكيميائى

نوع الاسمنت	الثبات والتمدد بعد ساعة من الغليان لايزيد على	التركيب الكيميائى (عظمى كنسبة مئوية بالوزن)			
		الرواسب غير القابلة للذوبات	الثنيزيا	الكبريت	الفقد بالحريق
				الكبريتيد	طقس معتدل	طقس حار
عادى وسريع التصلد	١٠ مم	١,٥	٤	٣-٢,٥	٣	٤
خبث الافران العالية	و٥ مم بعد تهوية ٧ أيام	١,٥	٧	٣	٣	٤
منخفض الحرارة		١,٥	٤	٢,٧٥	٣	٤
عالى الالومينا	١ مم	....	....	....	....	....

تاسعا : الاختبارات الطبيعة والميكانيكية والتحاليل الكيميائية للاسمنت

(ا) نبذة تاريخية عن تطور طرق الاختبار للمواد الأسمنتية :

لايوجد فيما ظهر من مراجع قبل عام ١٧٥٠ إلا القدر اليسير من المعلومات الخاصة بالطرق التى كانت متبعة فى اختبار المواد الأسمنتية التى كانت مكونة فى هذه الفترة من الجير وحده أو مخلوطاً بمرشبات السليكون والألومنيوم كمسحوق طوب البناء ورماد البراكين .

ويرجع الفضل فى تطور طرق اختبار الاسمنت الهيدروليكى — أى الذى يشك فى الماء — إلى جون سميتون أحد أئمة المهندسين المدنيين الانجليز حوالى عام ١٧٥٦ .

وكان سميتون يختبر قيمة المونة أو المادة الأسمنتية المختلفة التى لديه بعجنها على شكل كرة قطرها ٥ سم ثم يضع مجموعة من هذه الكرات فى الماء ويقدر خواصها الهيدروليكية وصلاحيتها لأعمال البناء بمدى صلادتها وماتأتى به من نتائج فى هذا الوسط.

وقد تمكن بفضل تلك الاختبارات البدائية من تقدير صلاحية المزيج المكون من مسحوق جير مائى ومن مركب سليكونى والذى استعمله فى بناء فنار « إيدى ستون » (Eddy Stone) .

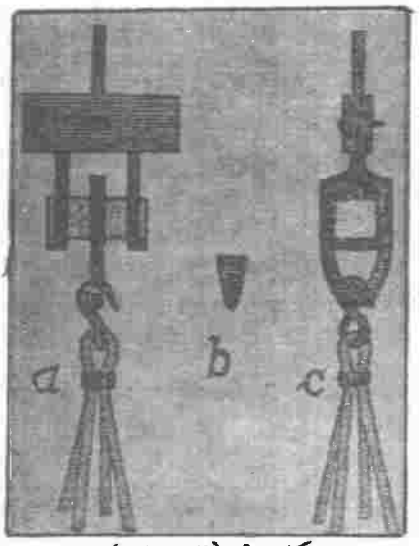
من ذلك نجد أن الاختبارات الأولى الخاصة بالأسمنت الهيدروليكى كانت

موجهة نحو تقدير ثباتها فى الماء وليس إلى اختبار مقاومتها أو خواصها الأخرى .

وبدأت بعد ذلك المحاولات الأولى لاختبار مونة الاسمنت واستعملت اختبارات الانحناء (Bending tests) فيها لاختبار مقاومة المواد الرابطة . ولقد ذكر أن « بنج كويست » (Beng Quist) السويدى نشر عام ١٧٧٢ ماحصل عليه من نتائج بعد إجراء سلسلة من اختبارات الانحناء على عينات من مونة الجير المائى المكونة من خليط من الاردواز (Slate) والطفل المحروق (Burned Clay) والجير (Lime) وكانت تنحصر طريقة الاختبار فى ارتكاز العينة عند الطرفين وتحميلها فى الوسط .

كما ذكر أيضاً أن سيسارت (Cesaart) قام بإجراء تجارب مماثلة عام ١٧٨٧ على عينات خرسانية أبعادها ١٥ × ١٥ × ١٠ سم .

كذلك قام الجنرال تروسارت « G. L. Treussart » أحد مهندسى السلاح الملكى الفرنسى بعدة تجارب انحناء فيما بين ١٨١٦ و ١٨٢٥ إذ استعمل عينات مساحة مقطعها ٢١,٢٥ سم٢ (٥ بوصات مربعة) محملة فى اوسط وترتكز على ركيزتين بينهما ١٠ سنتيمترات والجدير بالذكر أن هذه العينات لم تكن تصب فى قوالب بل كانت تقتطع من كتل صلبة كبيرة . ويبين شكل رقم (٢ — ٣٤) طريقة تروسارت العامة لعمل اختبارات الانحناء للمنشورات من المونة:



شكل رقم (٢ — ٣٤)
اختبارات الانحناء لمنشورات من المونة

ولقد وصف فيكات (Vicat) فيما بين عام ١٨١٨ وعام ١٨٢٨ فى أبحاثه طريقته الخاصة لتقدير مدى شك الاسمنت الجيرى وكان يشغل منصب كبير مهندسى الطرق والكبارى لفرنسا . وتتلخص هذه الطريقة فى خلط الجير بالماء أولا باستعمال ملوق (Spatula) ثم باستعمال مدقة (Pestle) بغرض الحصول على عجينة غليظة القوام كتلك التى تستعمل فى صنع الفخار ثم توضع هذه العجينة فى إناء زجاجى أو من الفخار غير المسامى

يزيد إرتفاعه عن عرضه بمقدار ٢/٣ أو ٣/٤ العرض ثم يحرك الإناء براحة اليد إلى أن تهبط العجينة وتنتشر فى الإناء ثم يوضع هذا الإناء فى ماء نقى ، ويختبر من آن لآخر لتقدير الصلادة (Hardness) ومعرفة مدى ما وصلت إليه عملية الشك .

وكان فيكات يقدر سرعة شك العجينة بالزمن من لحظة وضعها فى الماء إلى أن يتحمل سطحها دون هبوط يذكر طرف إبرة قطرها ١٢ ,٠ سم(٠,٠٤٧ بوصة مربعة الطرف ومحملة عند طرفها الآخر بكتلة من الرصاص تبلغ ٣٠٠ جم (٠,٦٦ باوند) وقد أوضح فيكات أن الموتة — فى هذه الحالة — تتحمل ضغط أصبع اليد مدفوعاً بقوة متوسطة ولا يمكن تغير شكلها دون حدوث كسر بها

وكان فيـــكات يسقط إبرة من الصلب ذات طرف دائرى قطره ١٦٦ ,٠ سم (٠,٠٦٥٣ بوصة) من على بعد مسافة ٥ سم(١,٩٧ بوصة) وهى محملة بكتلة وزنها ٩٩٦١ ,٠ كجم لتأكد من صلادة الخليط المستعمل وكان يستعمل فى أحيان أخرى مثقابا كالمستعمل لقياس صلادة الاحجار بدلا من إبرة الصلب وكان معيار الصلادة للمادة هو مدى اختراق طرف هذا المثقاب فى الخليط بعد عدد معين من اللفات .

ويرجع الفضل إلى فيكات فى ابتكار الجهاز الواسع الانتشار المستعمل حالياً لمعرفة قوام عجينة الاسمنت وزمن الشك .

فى نفس الوقت تقريباً قام الجنرال « باسلى » أحد مهندسى السلاح الملكى البريطانى بوصف مجموعة من طرق الاختبار المختلفة التى استعملها فى أبحاثه على المواد الجيرية والاسمنت الجيرى عام ١٨٢٦ .

ولقد اتبع « باسلى » نفس طريقة « سميتون » فى وضع كرات من الاسمنت النقى فى الماء للحصول على خواصها الهيدروليكية ، واعتبر أن هذا النوع من الاختبارات أشدها قوة ولا ينجح فيها إلا أقوى أنواع الاسمنت المائى — الذى وصفه باسلى بأنه علاوة على قابليته للشك تحت الماء فإنه بصفته من أصل جيرى — يجهز للاستعمال بخلطه بالماء ولا يتفكك عند حرقه ولا ينتفخ أو يتفتت المسحوق المحروق منه بعد عجنة على هيئة كرات سواء كان ذلك فى الهواء أو فى إناء مملوء بالماء ، ولـكن يشك ويتصلد دون تغيير يذكر فى حجمه ، بل وفى زمن أقل بكثير من الذى يتطلبه الجير فى الهواء .

ولقد كانت إحدى الطرق التى استعملها باسلى فى إختباراته لانواع الاسمنت المختلفة فى عامى ١٨٣٠ ، ١٨٣١ تتلخص فى تثبيت عدد من قوالب الطوب على حائط رأسى

واحد تلو الآخر باستعمال عجينة من الأسمنت النقى، وكان كل منها يثبت فى مكانه لمدة دقيقتين أو ثلاثة بطرف مسطرين، وكان يستعمل لكل مدماك خلطة جديدة ، ويلاحظ أن أنواع الأسمنت المستعملة كانت تشك بسرعة كبيرة الدرجة أنه كان يقوم بعمل عجينة جديدة كل ٦ أو ٧ دقائق .

وكان عدد قوالب الطوب التى يمكن تثبيتها فى مدماك واحد قبل وقوع المجموعة يدل دلالة واضحة على الالتصاق النسبى (Relative Adhesiveness) أو مقاومة أنواع الأسمنت المستعملة . وعلى الرغم من استطاعة تثبيت حوالى ٣٠ قالباً فى مدماك واحد بهذه الطريقة إلا أنه اتخذ عدد ١٨ أو ٢٠ قالباً كمعيار لصلاحية الأنواع المتوسطة من الاسمنت ويلاحظ أن هذه الطريقه فى الاختبار كانت دارجة وكثيرة الانتشار فيما بين عام ١٨٣٠ وعام ١٨٥٠ .

وقد لجأ باسلى إلى طرق أخرى للحصول على مقامة الاسمنت (Strength) إذ كان يقوم بلصق طوبتين أو حجرين أملسين بأبعاد مناسبة بواسطة عجينة من الاسمنت النقى أو المونة المكونة بنسبة ١:١ ثم يضع الوزن اللازم لفصل الاثنين عن بعضهما .

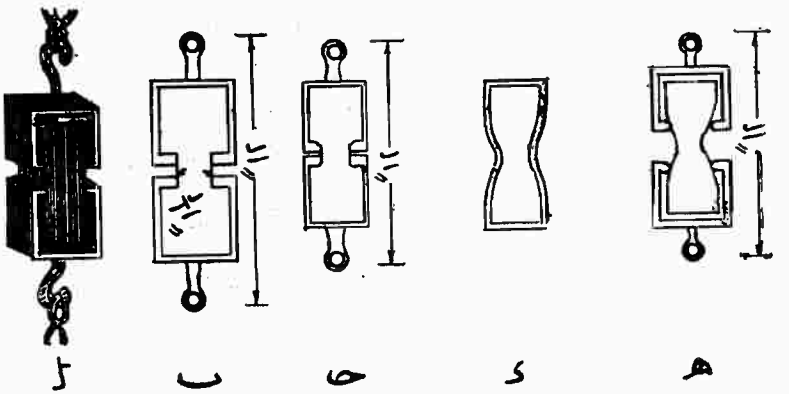
ومن الواضح أن هذا النوع من الاختبارات كان بهذه الطريق للكشف عن اختبارات الشد على قوالب الأسمنت ولقد استعمل باسلى نفس طريقة تروسارت فى الحصول على مقاومة الانحناء لأحجار أبعادها ٢×٢×٤ .

وقد أجريت فى فرنسا عام ١٨٤٨ اختبارات شد على عينات مساحة مقطعها عند العنق (Reduced section) ٦,٧ سم٢ (٢,٢٥ بوصة٢) ، ثم انتشر الاختبار على القوالب حوالى عام ١٨٥٠ إلى أن كان اختبار الشد عام ١٨٦٠ الذى حل محل معظم أنواع الاختبارات الأخرى وفى نفس العام بدأ فى المانيا استخدام القوالب ذات المقطع ١×١½ بوصة .

ولقد ذكر ريد جريف (Redgrave) أن أحد مهندسى الكبارى فى فرنسا قام بأول مجموعة من الاختبارات المنتظمة على الأسمنت البورتلاندى الذى استعمل على نطاق واسع بين عام ١٨٤٠ وعام ١٨٥٠ .

وقد قام « جون جرانت » كبير مهندسى عمليات المياه بلندن بوضع أول مجموعة من الاختبارات على الأسمنت البورتلاندى على نطاق واسع وذلك عند وضع مواصفات خاصة بالأسمنت المستخدم فى إنشاء شبكة المجارى الرئيسية بمدينة لندن .

وكان جرانت أول من استعمل اختبار الشد بشكله المعروف وذلك فى عام ١٨٥٩ واستعمل طرازا من الإطارات والمقابض المبينة بالشكل رقم (٢—٣٥) ويرجع



شكل رقم (٢ — ٣٥) مقابض وإطارات اختبار الشد فى عام ١٨٥٩

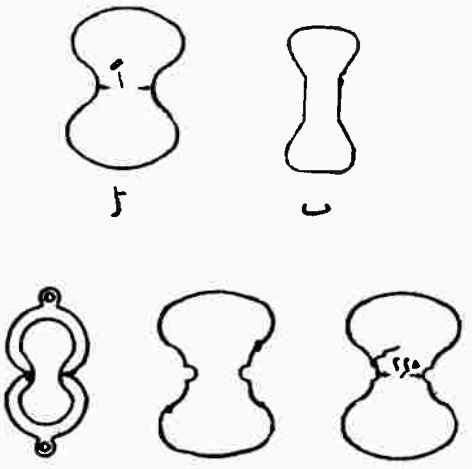
اختياره لهذا النوع شيوع استعماله فى إنجلترا وفرنسا فى ذلك الوقت .

وكانت مساحة القالب عند العنق ٢½ بوصة مربعة وروعى عند صنع القوالب ألا تحتوى على تلك الكمية من المياه التى تؤدى إلى أن تكون عجينة الاسمنت غليظة القوام إذ وجد أنه كلما قلت كمية المياه المستعملة فى عجن الاسمنت كان ذلك أفضل وقد تم اختبار القوالب فى نوع معين من المكنات قوامها الضواغط الهيدروليكية ولقد لجأ جرانت — لكثرة الصعوبات التى صادفته — إلى استعمال أشكال مختلفة من القوالب للحصول على نتائج أكثر وضوحاً وانتظاماً ، وقد استقر الرأى بعد تجارب عديدة على النوع المبين فى الشكل رقم (٢—٣٥) وهو الذى أوصت باستخدامه بعد ذلك الجمعية الامريكية للمهندسين المدنيين سنة ١٨٨٥ .

وطبقاً للنتائج التى حصل عليها منتجو الاسمنت البورتلاندى بانجلترا بعد إجراء عدد من الاختبارات أضاف جرانت الفقرة التاليه إلى المواصفات الخاصة بإنشاء شبكة المجارى المكلف بالقيام بها عام ١٨٥٩ :

« هذا علما بأنه يجب أن تكون جميع أنواع الاسمنت المستعملة فى هذه العملية والمشار إليها فى المواصفات الحديثة من أجود أنواع الاسمنت البورتلاندى ومطحونة لدرجة النعومة ، وتزن ما لا يقل عن ١١٠ باوند/بوشل

وقادرة على تحمل (حمل الكسر) ٤٠٠ باوند على مساحة ١¼ × ١¼ بوصة (٢,٢٥ بوصة مربعة) بعد ٧ أيام بعد الصب وذلك فى قالب حديدى يوضع فى الماء لمدة ٦ أيام .



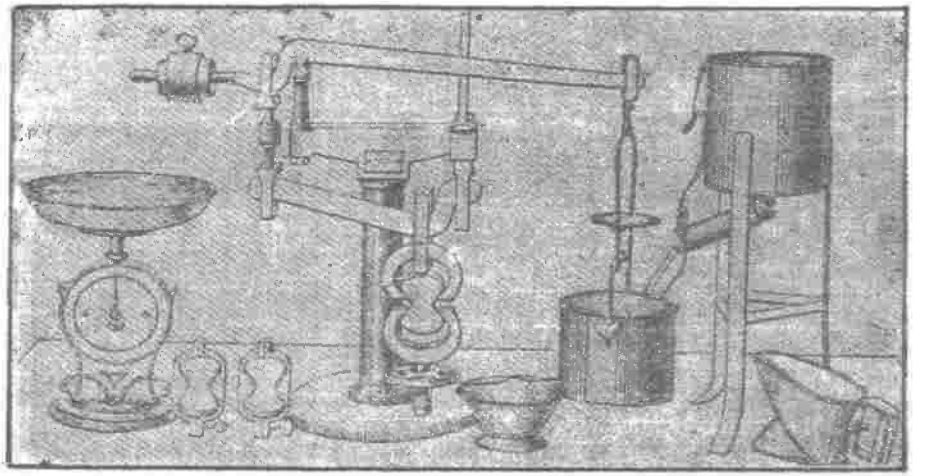
شكل رقم (٢ — ٣٦)
قوالب الشد للجمعية الامريكية للمهندسين المدنيين

ولقد أعطى جرانت أهمية عظمى للوزن النوعى للأسمنت ووجد أن الانواع ذات الوزن النوعى الكبير ذات خواص أفضل من تلك ذات الوزن النوعى الصغير . وأوضح أن الأسمنت بطىء الشك يعطى مقاومة أكبر من مثيله سريع الشك ، كما أشار فى بحثه الذى ظهر سنة ١٧٨٠ إلى إستعمال كعكات أو أسطوانات من الاسمنت ذات قطر يتراوح بين ٢ ، ٣ بوصة وسمك حوالى ¼١ بوصة وأطراف رفيعة للحصول على زمن الشك والثبات الحجمى فكان يقوم بعمل كعكتين من الاسمنت ، ويحتسب الزمن بالدقائق الذى تصبح فيه قادرة على تحمل الضغط الواقع من الظفر ، ثم يتخذ ذلك كمعيار وعندما تصل الكعكتان إلى درجة كافية من الصلادة كانت توضع إحداهما فى الماء وتراقب يومياً لمعرفة مدى التشقق أو الإعوجاج الذى قد يحدث بها . أما الاخرى فتترك فى الهواء لمعرفة مدى تغير لونها .

وقد أوصت اللجنة التى شكلت لدراسة طرق الاختبار على الاسمنت والمنبثقة من الجمعية الامريكية للمهندسين المدنيين (A. S. C. E.) فى تقريرها عام ١٨٨٥ بإجراء إختبارات مماثلة لنفس الغرض .

ومما لاشك فيه أن أبحاث جرانت الكثيرة وإختباراته العديدة كان لها أبعد الاثر فى طرق الاختبار والفحص للأسمنت البورتلاندى فى كثير من البلاد المنتجة له .

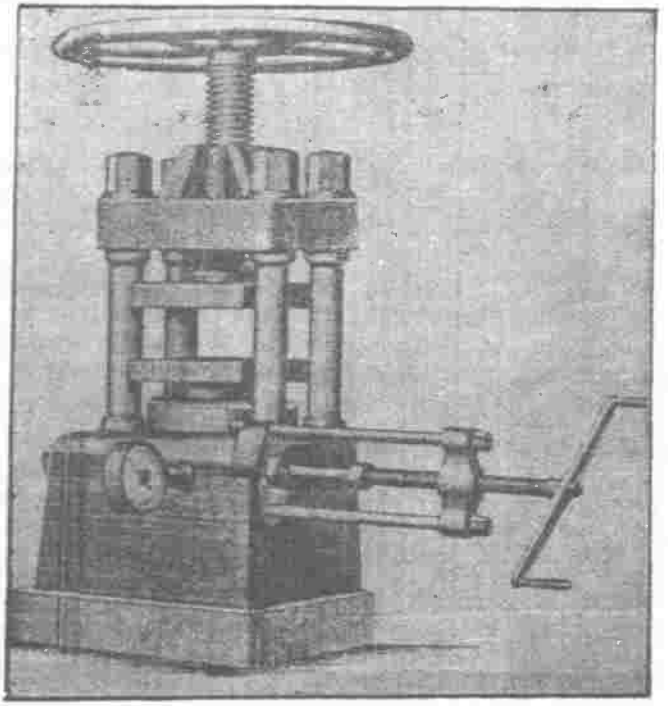
ومن الجدير بالذكر أن أول آلة لإجراء اختبارات الشد لم تنتج إلا فى غضون عام ١٨٧٥ شكل رقم (٢ — ٣٧) ومازال طراز هذه الآلة يستعمل للآن ولكن بصورة معدلة إلا أن إختبار الشد قد أثبت جدارة وكفاية وصلاحية منذ عام ١٨٦٠ .



شكل رقم (٢ — ٣٧) آلة اختبار الصلابة لمونة الأسمنت عام ١٨٧٥

ولذلك نجد أن جميع الانواع الاخرى من الاختبارات قد قلت أو كادت تختفى بينما فى الناحية الاخرى نجد أن اختبار الضغط لم يخطو أى خطوات مماثلة لاختبار الشد على الرغم من ظهورهما فى وقت واحد . ولا يرجع السبب فى ذلك إلى عدم تفهم قيمة هذا الاختبار بل إلى الصعوبات التى كان يصادفها الباحثون عند إجراء هذا الاختبار .

ولم يأت ذكر اختبـــار الضغط فى أول مواصفات ظهرت خاصة بالاسمنت البورتلاندى ، فقد كان ثمن الضواغط الهيدروليكية باهظاً ولقد ذكر ميخائيليدس أنه لم يوجد سوى ثلاثة من تلك الضواغط فى أوربا كلها عام ١٨٧٥ شكل(٢—٣٨) ولـكن كان لديه نوع آخر من الضواغط تصل قدرتها إلى ٦,٠٠٠ كجم وهى أقل قدرة من الاولى . وكان يستعمل فى أول الامر عينات أبعادها ١٠ × ١٠ × ٦ سم ثم مكعبات ١٠ × ١٠ × ١٠ سم وأخيراً مكعبات ٧,٠٧×٧,٠٧×٧,٠٧سم إذ أن استعمال مكعبات مساحة مقطعها ١٠×١٠ سم كان يتخطى قدرة المكنة وقد عمّ فيما بعد استعمال المكعب ٧,٠٧ سم فى جميع أنحاء أوربا لإجراء اختبارات الضغط ، حتى أنه نسب إلى هيجر فى عام ١٩٢٧ ماذكره من أن اختبارات الضغط على مكعبات ٧,٠٧ سم أصبحت فى المرتبة الثانية بعد الاختبارات الشد وقبل اختبارات الانحناء التى جاءت فى المرتبة الثالثة . والجدير بالذكر أن اختبارات الضغط والانحناء هما الاختباران الوحيدان اللذان جاء ذكرهما فى آخر المواصفات الالمانية عام ١٩٤٢



شكل رقم (٢ — ٣٨) ضاغط هيدروليكى عام ١٨٧٥ لاختبار الضغط للاسمنت

الخاصة بالاسمنت البورتلاندى العادى والجارى استعمالهـــا إلى الآن لمعرفة طرق الاختبارات القياسية .

وبدأت بعد ذلك الهيئات والمنظمات العالمية فى إصدار المواصفات الخاصة بها كما بدأت كل دولة تحدد احتياجاتها من الاختبارات القياسية وكان أبرزها مجموعة الدراسات والأبحاث التى قامت بها الجمعية الامريكية للاختبار والمواد (A.S.T.M) والتى كانت نتيجتها وضع مواصفات للأسمنت البورتلاندى والانواع الاخرى من الاسمنت وكذلك اشتملت هذه المواصفات على معلومات خاصة بالبائع والمشترى والعينات وكذلك على طرق الاختبار القياسية .

وفيما يلى نص لطرق الاختبارات القياسية التى نصت عليها المواصفات القياسية المصرية (م . ق٣٧٣/١٩٦٣) وذلك لتحديد خواص الأسمنت المختلفة ومدى التغير الذى أجازته هذه المواصفات فى تلك الخواص والتى تشمل النعومة وزمن الشك الابتدائى والنهائى وثبات الحجم ومقاومة الضغط والشد .

(ب) المواصفات القياسية رقم ١٩٦٣/٣٦٣

الاسمنت البورتلاندى العادى والاسمنت البورتلاندى سريع التصلد :

المجال :

تختص هذه المواصفات القياسية بالاسمنت البورتلاندى من النوعين الآتيين :

١ ــ الأسمنت البورتلاندى العادى .

٢ ــ الأسمنت البورتلاندى سريع التصلد : وهو الأسمنت مبكر القوة ويعرف محليا باسم أسمنت سوبر كريت .

كما تشتمل هذه المواصفات القياسية على الخواص الطبيعية والميكانيكية والكيميائية التى تحدد صلاحية الأسمنت البورتلاندى للاعمال الإنشائية وتتضمن كذلك طرق إجراء الاختبارات الطبيعية والميكانيكية ، أما طرق إجراء الاختبارات الكيميائية فتتبع فى إجرائها الطرق القياسية المنصوص عليها فى المواصفات القياسية للتحليل الكيميائى للاسمنت المعتمدة من الهيئة المصرية للتوحيد القياسى .

التعاريف :

الاسمنت البورتلاندى العادى أو الاسمنت البورتلاندى سريع التصلد والمادة الناتجة من طحن وتنعيم ناتج حرق المواد الجيرية والطينية (أو المواد الجيرية والمواد المحتوية على سليكا وألومينا وأكسيد حديد) لدرجة حرارة تكون الكلنكر على أن تكون هذه المواد مخلوطة خلطا جيدا بنسبة معينة قبل عملية الحرق ولا يجوز إضافة أية مادة أخرى بعد الحرق سوى الجبس (أو مشتقاته) أو الماء أو كليهما على أن يكون الاسمنت الناتج مطابقا لهذه المواصفات القياسية .

الاختبارات :

يطابق الاسمنت البورتلاندى العادى هذه المواصفات القياسية فيما يتعلق بالاختبارات الآتية :

١ ــ النعومة . ٢ ــ زمن الشك . ٣ ــ ثبات الحجم .

٤ ــ المقاومة (القوة) . ٥ ــ التركيب الكيميائى .

على أن تجرى هذه الاختبارات طبقا للطرق القياسية .

الخواص :

١ — النعومة :

(ا) لا تزيد قيمة المحجوز على المنخل القياسى ٠,٠٩ مم على ما يأتى :

١٠ ٪ بالوزن للاسمنت البورتلاندى العادى .

٥ ٪ « « « سريع التصلد ،

وذلك عند إجراء اختبار النعومة بطريق النخل .

(ب) لا تقل المساحة النوعية السطح عما يأتى :

٢٢٥٠ سم٢ / جرام للأسمنت البورتلاندى العادى .

وذلك عند إجراء اختبار النعومة بطريقة « بلين » لتعيين المساحة النوعية السطح .

٢ — زمن الشك .

لايقل زمن الشك الابتدائى للأسمنت البورتلاندى العادى أو الأسمنت البورتلاندى سريع التصلد عن ٤٥ دقيقة ولا يزيد زمن الشك النهائى لهما على عشر ساعات وذلك عند إجراء الاختبار على عجينة الأسمنت الخالص ذات القوام القياسى .

٣ — ثبات الحجم :

لايزيد تمدد الاسمنت البورتلاندى العادى أو الاسمنت البورتلاندى سريع التصلد على ١٠ ملليمتر وذلك عند إجراء الاختبار على عجينة الاسمنت الخالص ذات القوام القياسى .

وفى حالة عدم مطابقه الاسمنت لهذا الشرط يعاد اختبار ثبات الحجم على عينة من نفس الاسمنت بعد تهويته لمدة سبعة أيام وذلك بفرشه بارتفاع ٧٥ ملليمتر تقريباً على سطح جاف فى جو رطوبته النسبية ٥٠ — ٨٠ ٪ وفى هذه الحالة لايزيد تمدد الاسمنت على ٥ مم .

٤ — المقاومة (القوة) :

أولا : مقاومة الضغط لمونة الاسمنت :

لا يقل متوسط مقاومة الضغط لثلاثة مكعبات من مونة الاسمنت عما يأتى :

(ا) الاسمنت البورتلاندى العادى :

تكون مقاومة الضغط بعد ٣ أيام (٧٢±ساعة واحدة) ١٦٠ كجم/سم٢ على الاقل .

وتكون مقاومة الضغط بعد ٧ أيام (١٦٨ ± ساعتان) ٢٤٠ كجم/سم^{٢} على الاقل . ويجب أن تكون أكبر من مقاومه الضغط بعد ٣ أيام .

(ب) الاسمنت البورتلاندى سريع التصلد:

تكون مقاومة الضغط بعد ٣ أيام (٧٢ ± ساعة واحدة) ٢١٠ كجم / سم^{٢} على الاقل .

وتكون مقاومة الضغط بعد ٧ أيام (١٦٨ ± ساعتان) ٢٨٥ كجم/^{٢} على الاقل ويجب أن تكون أكبر من مقاومة الضغط بعد ٣ أيام .

ثانيا ــ مقاومة الشد لمونة الاسمنت :

تعين مقاومة الشد لمونة الاسمنت البورتلاندى سريع التصلد فقط على أن يكون ذلك اختياريا .

وفى هذه الحالة لايقل متوسط مقاومة الشد لستة قوالب بعد مرور ٢٤ ساعة عن ٢١ كجم / سم^{٢} .

٥ ــ التركيب الكيميائى :

(ا) معامل تشبع الجير :

لايزيو معامل تشبع الجير على ١,٠٢ ولا يقل عن ٠,٩٦ وذلك طبقاً للقيم المحسوبة من المعالادت الآتية :

$$\text{معامل تشبع الجير} = \frac{\text{أكسيد الكالسيوم} - ٠٫٧ \text{ ثالث أكسيد الكبريت}}{٢٫٨ \text{ ثانى اكسيد السليكون} + ١٫٢ \text{ أكسيد الألومينوم (ألومينا)} + ٠٫٦٥ \text{ أكسيد الحديديك}}$$

حيث تقدر قيمة الاكسيد المبينة فى المعادلة الكيميائية السالفة كنسبة مئوية من وزن عينة الاسمنت . ولاتشمل هذه القيمة ماهو موجود من الاكسيد بالموادالمتبقية غير القابلة للذوبان .

(ب) المواد المتبقية غير القابلة للذوبان :

لاتزيد المواد المتبقيه غير القابلة للذوبان على ١,٥ ٪ بالوزن .

(حـ) المغنيزيا (أكسيد المغنسيوم) :

لاتزيد المغنيزيا التى يحتوى عليها الاسمنت على ٤ ٪ بالوزن .

(ى) نسبة الألومينا إلى أكسيد الحديديك :

لاتقل نسبة الألومينا إلى أكسيد الحديديك عن ٠,٦٦

(هـ) ثالث أكسيد الكبريت :

لا تزيد النسبة المئوية الكلية للكبريت فى الاسمنت بالوزن مقدرة على هيئة ثالث أكسيد الكبريت على ما يأتى :

ألومينات ثلاثى الكالسيوم النسبة المئوية بالوزن	الحد الاقصى لثالث أكسيد الكبريت (النسبة المئوية بالوزن)
٧ وأقل	٢,٥
أكثر من ٧	٣

وتحسب كمية ألومينات ثلاثى الكالسيوم من المعادلة الآتية :

ألومينات ثلاثى الكالسيوم = ٢,٦٥ أكسيد الالومنيوم — ١,٦٩ أكسيد الحديديك

(و) أكسيد الكالسيوم الطليق (الحر) :

لا تزيد النسبة المئوية لاكسيد الكالسيوم الطليق على ٢٪ بالوزن .

(ز) الفقد بالحرق :

لا يزيد الفقد بالحرق على ٣٪ بالوزن للاسمنت فى المناطق المعتدلة المناخ .

ولا يزيد الفقد بالحرق على ٤٪ بالوزن للاسمنت فى المناطق الحارة المناخ .

أخذ العينات :

تؤخذ عينات الاسمنت اللازمة لإجراء الاختبارات المبينة بهذه المواصفات القياسية بمعرفة المشترى أو مندوبه وذلك فى خلال أسبوع من تاريخ توريد الاسمنت طبقا لما هو مبين بالاختبار رقم ١ على أن تحفظ عينات الاختبار فى وعاء محكم جاف نظيف ، ثم تجرى عليها الاختبارات فى خلال أربعة أسابيع من التوريد .

شهادة منتج الاسمنت :

يجب أن يتأكد المنتج من أن الاسمنت يطابق هذه المواصفات القياسية عند توريده ، وعليه أن يقدم للمستهلك أو مندوبه شهادة بذلك عند الطلب . وإذا لم تطابق

العينة المأخوذة من أى رسالة شروط جميع الاختبارات المنصوص عليها بهذه المواصفات القياسية تعتبر هذه الرسالة غير مطابقة .

وإذا رغب المشترى أو مندوبه فى إجراء اختبارات فتؤخذ العينات بمعرفة المشترى أو مندوبه قبل أو عند التوريد وتجرى عليها الاختبارات المبينة بهذه المواصفات وعلى المنتج أن يقدم عينات الاختبار بدون مقابل .

التعبئة :

ما لم يوجد اتفاق خاص بين البائع والمشترى يورد الأسمنت فى عبوات (شكاير) تحوى كل منها ٥٠ كجم من الأسمنت ، ويبين على كل عبوة (شكارة) نوع الأسمنت ووزنه وعلامته التجارية المسجلة .

الاختبارات الطبيعية والميكانيكية

١ — تجهيز عينة الاختبار :

تجهز عينة الاختبار بخلط اثنتى عشرة عينة فرعية متساوية تقريبا مأخوذة من مواقع مختلفة موزعة بانتظام فى رسالة الأسمنت . يراعى فى حالة الأسمنت الموجود بالصوامع أن تؤخذ العينات الفرعية أثناء الملء أو التفريغ أما فى حالة الأسمنت المعبأ بالشكاير فتؤخذ العينات الفرعية من ست شكاير . وإذا قل عدد الشكاير عن ستة فتؤخذ عينة فرعية من كل شكارة وتخلط مع بعضها البعض لتكون عينة الاختبار .

ويراعى أن يكون وزن عينة الاختبار ١٠ كجم على الأقل وذلك لكل رسالة أسمنت تزن ٢٥٠ طنا أو أقل أما إذا زادت رسالة الأسمنت على ٢٥٠ طنا فتقسم إلى وحدات زنة الواحدة منها ٢٥٠ طنا تقريبا ، ويؤخذ من كل عينة اختبار مستقلة .

٢ — اختبار النعومة :

تعين نعومة الأسمنت بإحدى الطريقتين الآتيتين :

(أ) طريقة النخل :

ينخل ١٠٠ جرام من الأسمنت الجاف بمنخل قياسى ٠,٠٩ مم وذلك لمدة ١٥ دقيقة عند إجراء عملية النخل باليد أو ٥ دقائق عند إجراء عملية النخل بالهزاز الميكانيكى ثم يوزن الأسمنت المحجوز على المنخل لأقرب ٠,١ جرام .

فتكون النعومة هى النسبة المئوية الوزن المحجرز على المنخل . ويراعى أن يكون للمنخل المستخدم فى الاختبار وعاءاً محكماً يرتكز عليه وغطاء محكم وذلك لتلافى فقد أى كمية من الاسمنت كما تجب مراعاة النظافة التامة للمنخل أو الوعاء والغطاء قبل الاختبار .

(ب) طريقة « بلين » لتعيين السطح النوعى :

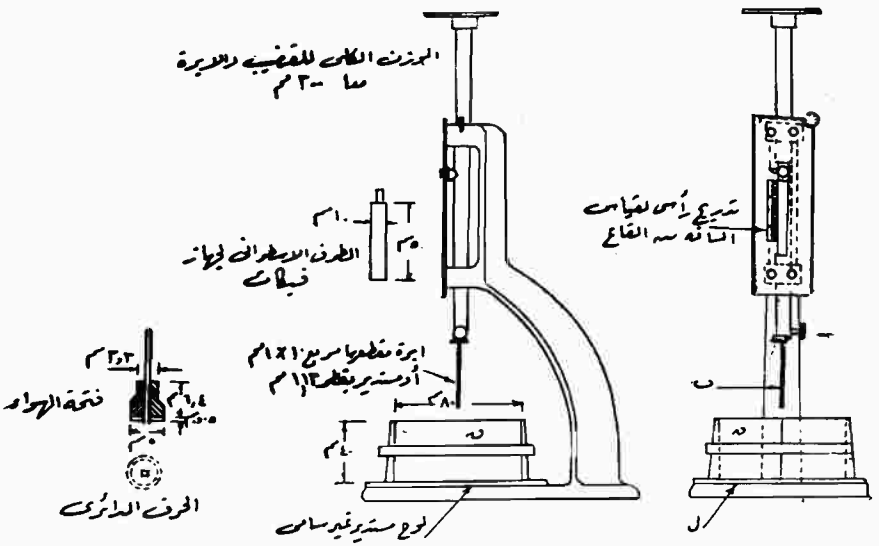
يعين السطح النوعى للاسمنت بطريقة « بلين » مقدرا بالسنتيمتر المربع للجرام وذلك باستخدام جهاز « بلين » .

٣ ــ اختبار القوام القياسى لعجينة الاسمنت :

يشمل هذا الاختبار طريقة تعيين كمية الماء اللازمة لتشكيل عجينة الاسمنت ذات القوام القياسى المستخدمة فى كل من اختبار زمن الشك واختبار ثبات الحجم .

الجهاز :

يستخدم فى هذا الاختبار جهاز فيكات المبين بالشكل (٢ــ٣٩) مع مراعاة استخدام طرف أسطوانى ذى قطر مقداره ١٠ مم .



جهاز فيكات لتعيين نسبة الماء اللازمة لتشكيل عجينة الاسمنت القياسية ولتحديد زمن الشك

شكل رقم (٢ ــ ٣٩)

الطريقة :

كمية الماء اللازمة لتشكيل عجينة الاسمنت ذات القوام القياسى هى الكمية التى تعطى عجينة تسمح بنفاذ الطرف الأسطوانى لجهاز فيكات إلى نقطة تبعد من ٥ إلى ٧ مم من قاع قالب فيكات عند اختبار عجينة الاسمنت كما يلى :

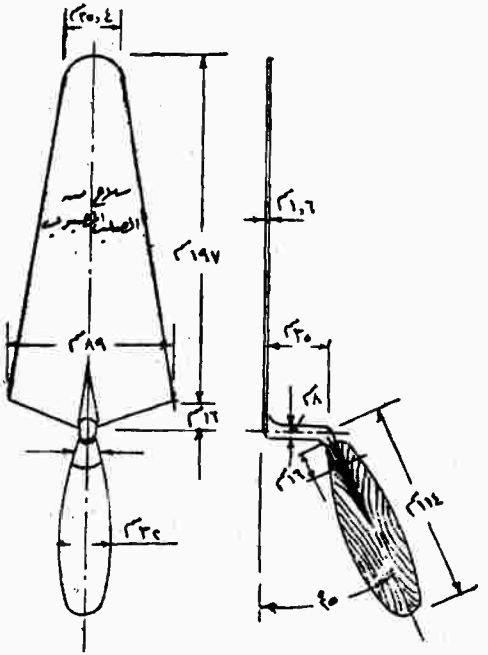
(ا) تحضر كمية من الاسمنت وزنها ٤٠٠ جرام يضاف إليها كمية مناسبة من الماء (تقدر كنسبة مئوية من وزن كمية الاسمنت الجاف) وتجرى عملية الخلط جيدا لتجهيز عجينة الاسمنت بحيث تكون مدة الخلط ٤ (± ¼ دقيقة) ومدة الخلط هى الزمن المحصور بين بدء إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف حتى بدء ملء قالب جهاز فيكات بعجينة الاسمنت .

(ب) يملأ قالب فيكات (ق) المرتكز على لوح مستو غير مسامى ، ملئا تاما ، ودفعة واحده بعجينة الاسمنت السابق تحضيرها ثم يسوى سطح العجينة مع حافة القالب بسرعة .

ويراعى عند ملء القالب ألا تستعمل فى ذلك سوى يد القائم بالاختبار وسلاح مسطرين الخلط القياسى زنة ١٢٠ جم تقريبا المبين بالشكل رقم (٢ — ٤٠) .

(حـ) توضع عجينة الاختبار داخل قالب فيكات والمرتكز على اللوح المستوى غير المسامى (ل) تحت القضيب الحامل للطرف الاسطوانى لجهاز فيكات .

ثم يدلى الطرف الاسطوانى (د) ببطء حتى يمس سطح العجينة . ثم يترك بعد ذلك حرا تحت تأثير وزنه لينفذ فى العجينة .



مسطرين الخلط القياسى
زنة ١٢٠ جم

شكل رقم (٢ — ٤٠)

ويراعى أن تتم هذه العملية بعد ملء قالب فيكات مباشرة .

(د) يحدد مقدار نفاذ الطرف الأسطوانى فى عجينة الأسمنت بتعيين المسافة بينه وبين قاع قالب فيكات بواسطة التدريج الموجود بالجهاز .

(هـ) يعاد عمل عجائن تجريبية بكميات مختلفة من الماء للوصول إلى كمية الماء التى تعطى عجينة الأسمنت ذات القوام القياسى السابق ذكرها وتقدر هذه الكمية على هيئة نسبة مئوية من وزن الأسمنت الجاف .

ويراعى عند إجراء هذا الاختبار أن تكون أجهزة الخلط نظيفة وأن تكون درجة حرارة الأسمنت والماء وحرارة الغرفة فى حدود ١٨ — ٢٤ درجة مئوية .

٤ — اختبار زمن الشك الابتدائى وزمن الشك النهائى :

التعريف :

(ا) زمن الشك الابتدائى : هو الفترة التى تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الأسمنت الجاف ولحظة نفاذ إبرة جهاز فيكات فى عجينة الأسمنت إلى مسافة لاتزيد على ٥ مم تقريبا من قاع قالب فيكات .

زمن الشك النهائى : هو الفترة التى تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الأسمنت الجاف واللحظة التى تترك إبرة جهاز فيكات أثرا بعجينة الأسمنت بينما لايظهر الأثر الدائرى الجزء المثبت حول الإبرة .

الجهاز :

يستخدم جهاز فيكات المبين بالشكل رقم (٢ — ٣٩) مع مراعاة استخدام إبرة الجهاز (ب) فى حالة تعيين زمن الشك الابتدائى ، واستخدام الطرف الآخر المكون من الإبرة (ب) والمثبت حولها الجزء الإضافى ذو المقطع الدائرى فى حالة تعيين زمن الشك النهائى.

الطريقة :

(ا) تحضر كمية من الأسمنت وزنها ٤٠٠ جرام ، ثم تضاف إليها كمية الماء اللازمة لجعلها عجينة ذات قوام قياسى وهى الكمية التى تحصل عليها من الاختبار رقم (٣) ، الذى يجب أن يجرى قبل هذا الاختبار مباشرة وتحت نفس ظروف درجة الحرارة والرطوبة . ويراعى أن تجرى عملية الخلط جيداً بحيث تكون مدة الخلط هى ٤

(± ¼ دقيقة) ومدة الخلط هى الفترة التى تمر بين بدء إضافة الماء إلى الأسمنت الجاف حتى بدء ملء قالب جهاز فيكات بالعجينة الأسمنتية .

(ب) يملأ قالب فيكات المرتكز على لوح مستو غير مسامى ملئا تاما ودفعة واحدة بعجينة الأسمنت السابق تحضيرها ثم يسوى سطح العجينة مع حافة القالب بسرعة .

ويراعى عند ملء القالب ألا تستعمل فى ذلك سوى يد القائم بالاختبار وسلاح مسطرين الخلط العادى زنة ٢١٠ جم تقريباً المبين بالشكل رقم (٢ — ٤٠) .

(حـ) توضع عجينة الاختبار الموجودة داخل قالب فيكات (ق) والمرتكز على اللوح المستوى غير المسامى (ل) تحت ابرة جهاز فيكات (ب) ثم تدلى الإبرة ببطء حتى تمس سطح العجينة بالقالب وتترك الإبرة حرة لتنفذ فى العجينة تحت تأثير الوزن الكلى للقضيب والابرة معا (٣٠٠ جم) .

(ء) تكرر عملية نفاذ الابرة بالعجينة فى مواضع مختلفة إلى أن تنفذ الابرة إلى مسافة لاتزيد على ٥ مم تقريبا من قاع قالب فيكات (ق) .

وبذلك يكون زمن الشك الابتدائى هو الفترة التى تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الأسمنت الجاف ولحظة نفاذ ابرة جهاز فيكات فى عجينة الأسمنت لمسافة لاتزيد على ٥ مم تقريبا من قالب فيكات .

(هـ) تستبدل الابرة (ب) بالطرف الآخر (حـ) ، ثم يدلى القضيب ببطء حتى يمس الطرف (ج) سطح العجينة ويترك حرا لينفذ فى العجينة تحت تأثير الوزن الكلى للقضيب والابرة معا

(و) تكرر عملية نفاذ الجزء (ج) فى مواضع مختلفة من سطح العجينة إلى أن تترك الابرة أثرا بالعجينة بينما لايظهر الأثر الدائرى للجزء المثبت حول الابرة .

وبذلك يكون زمن الشك النهائى هو الفترة التى تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الأسمنت الجاف واللحظة التى تترك ابرة جهاز فيكات أثرا بعجينة الأسمنت بينما لايظهر الأثر الدائرى للجزء المثبت حول الابرة .

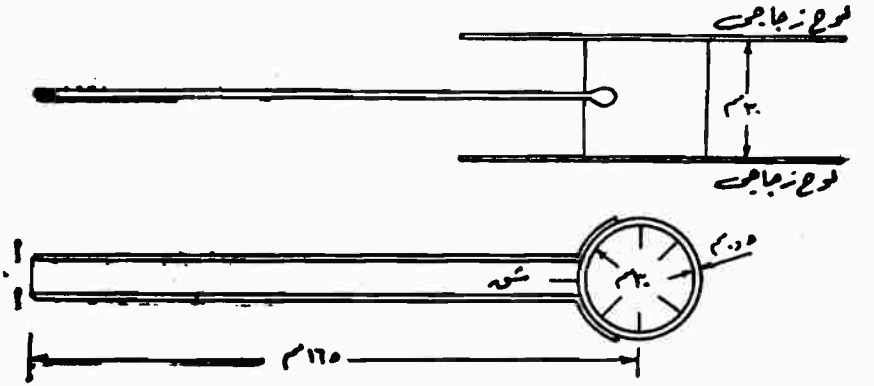
ويمكن استخدام السطح الأسفل لعجينة الأسمنت إذا تكون (زبد) على سطح العجينة عند تعيين زمن الشك النهائى .

٥ ــ اختبار ثبات الحجم :

يبين هذا الاختبار طريقة تعيين ثبات حجم الأسمنت بطريقة « لوشاتلييه » القياس التمدد .

الجهاز :

يستخدم جهاز « لوشاتلييه » المبين بالشكل رقم (٢ ــ ٤١) ويراعى أن يكون قالب الجهاز بحالة جيدة بحيث لاتزيد المسافة بين شقى فتحة القالب (هـ) على ٠,٥٠ مم.



جهاز لوشاتلييه ــ يتكون من اسطوانه بها شق على امتداد طولها ومصنوعة من النحاس الأصفر البالغ أو أى معدن آخر مناسب ومثبت على كل من جانبى شق الاسطوانة مؤشر مدبب .

شكل رقم (٢ ــ ٤١)

الطريقة :

(ا) تحضر كمية من الأسمنت وزنها ٦٠٠ جرام تقريبا (وهى الكمية اللازمة لعمل عجينة تملأ ٦ عينات من قوالب « لوشاتلييه ») وتضاف إليها كمية الماء اللازمة لجعلها عجينة ذات قوام قياسى وهى الكمية التى تحدد من الاختبار رقم (٣) . والذى يجب أن يجرى قبل الاختبار مباشرة وتحت نفس ظروف درجة الحراره والرطوبة وتجرى عملية الخلط جيدا بحيث تكون مدة الخلط ٤ (± ½ دقيقة) .

(ب) يوضع قالب « لوشاتلييه » على لوح صغير من الزجاج ويملأ بعجينة الأسمنت ذات القوام القياسى السابق تجهيزها مع مراعاة حفظ شقى القالب منطبقين على بعضهما

دون ضغط أثناء ملء القالب ثم يغطي القالب بلوح زجاجى آخر ويوضع فوقه ثقل صغير .

(حـ) يغمر القالب بلوحيه مع الثقل بعد ذلك مباشرة فى ماء درجة حرارته ٢٠ م (± درجة واحدة مئوية) ويترك لمدة ٢٤ ساعة .

(د) يرفع بعد ذلك القالب من الماء وتقاس المسافة (أ أ) بين طرفى مؤشرى القالب الموضحة بالشكل رقم (٣) .

(هـ) تغمر القوالب مرة ثانية فى ماء درجة حرارته ٢٠م (± درجة واحدة مئوية) وترفع درجة حرارة الماء تدريجياً إلى أن تصل إلى درجة الغليان فى مدة تتراوح بين ٢٥ ، ٣٠ دقيقة وتترك القوالب فى الماء مع استمرار الغليان لمدة ساعة .

(و) ترفع القوالب ن الماء وتترك لتبرد ، ثم تقاس المسافة (أ أ) بين طرفى مؤشرى القالب ثانياً .

(ز) يحسب الفرق بين قراءتى المسافة (أ أ) السابق ذكرها فى الخطوتين ٤ ، ٦ فيكون ذلك الفرق معبراً عن تمدد الأسمنت .

٦ ــ اختبار مقاومة الضغط :

يشمل هذا الاختبار طريقة تعيين مقاومة الضغط باختبار مكعبات من مونة الاسمنت المدموكة بمكنة الاهتزاز القياسية .

الأجهزة :

١ ــ مكنة الاهتزاز :

ويجب أن تتوافر فيها الشروط الآتية .

(ا) أن يكون وزن جزء المكنة المرتكز على بليات الاهتزاز بما فى ذلك وزن قالب الاختبار والدليل ٣٠ كيلو جراما تقريباً .

(ب) أن تكون سرعة اهتزاز المكنة تساوى ١٢٠٠٠ (± ٤٠٠) هزة فى الدقيقة .

٢ ــ قوالب الاختبار :

يكون قالب الاختبار مكعبا طول ضلعه الداخلى ٧,٠٦ (± ١٢٥ سم) لتكون

مساحة كل وجه من أوجهه ٥٠ سم٢ وتكون جميع زواياه المكعب ٩٠ (± ½) درجة ، كما يكون القالب من معدن لا يتأثر بالأسمنت وتكون أسطحه مستوية ومتوازية . ويكون متين الصنع بحيث تكون أجزاؤه ملتصقة تماما عند تجميعها أثناء عملية ملئه أو رفعة وهو مملوء من مكنة الاهتزاز حتى لا يصيب عينة الاختبار أى ضرر .

ويجب ان يزود قالب الاختبار بقاعدة من لوح معدنى مستوى السطح تمام مع مراعاة أن تكون أبعاده بحيث تسمح بارتكاز قالب الاختبار عليه دون حدوث أى تسرب أثناء عملية ملء القالب .

الرمل القياسى :

يشترط فى الرمل القياسى الذى يستعمل فى هذا الاختبار ما يأتى .

(ا) ألا تقل نسبة السليكا فيه عن ٩٠ ٪ بالوزن .

(ب) أن يغسل جيداً ويجفف .

(ح) ألا يزيد الفقد فى الوزن بعد معالجة الرمل بحمض الهيدروكلوريك الساخن على ٢٥ ٪ .

(د) أن يمر جميعه من المنخل القياسى ٨٥ر٠ مم ولا يزيد المار منه من المنخل القياسى ٦ر٠ مم على ١٠ ٪ بالوزن .

الطريقة :

(ا) تحضر الكميات اللازمة لعمل ٦ مكعبات من مونة أسمنتية (كل مكعب على حدة) بنسبة جزء واحد من الأسمنت إلى ثلاثة أجزاء من الرمل (بالوزن) وفيما يلى الأوزان اللازمة لتحضير مكعب واحد من مكعبات الاختبار .

أسمنت = ١٨٥ جم .

رمل قياس = ٥٥٥ جم .

ماء = ٧٤ سم٣ (أى ١٠ ٪ من وزن الاسمنت والرمل معاً) .

(ب) تغطى وصلات قالب الاختبار وأحرف اتصال الجوانب بالقاعدة بطبقة رقيقة من جيلاتينة البترول وذلك لمنع تسرب الماء أثناء اهتزاز القالب كما تغطى جميع الأوجه الداخلية للقالب بعد تجميعها بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف .

(ج) يخلط الاسمنت مع الرمل الجاف بالمسطرين على سطح مستو غير مساعى لمدة دقيقة . ثم يضاف الماء وتخلط المونة جيداً لمدة أربع دقائق .

ويراعى أن تكون أجهزة الخلط نظيفة وأن تكون درجة حرارة الاسمنت والرمل وحرارة الغرفة فى حدود ١٨ — ٢٤ درجة مئوية .

(د) يوضع القالب على مكنة الاهتزاز ويثبت تثبيتا محكما فى مكانه ويوضع فوقه دليل مناسب فى الشكل والمقاس لتسهيل ملئه ولا يرفع هذا الدليل إلا بعد انتهاء مدة الاهتزاز .

(هـ) تنقل المونة بعد خلطها مباشرة من الدليل إلى القالب ثم يهز القالب لكبس المونة لمدة دقيقتين على مكنة الاهتزاز بسرعة مقدارها ١٢٠٠٠ (± ٤٠٠) لفة فى الدقيقة .

(و) يرفع القالب من مكنة الاهتزاز ويوضع فى جو رطوبته النسبية ٩٠ ٪ على الأقل ودرجة حرارته ٢٠ (± درجة واحدة) مئوية لمدة ٢٤ (± ½ ساعة) ويراعى أثناء هذه المدة تغطية سطح القالب بلوح مستو غير مساعى (مثل الحديد أو المطاط) لمنع تبخر الماء .

(ز) ترفع مكعبات الاختبار من القالب وتوضع عليها علامات لتمييزها وتغمر فى الماء مباشرة لمعالجتها وتترك فيه حتى يحين موعد اختبارها .

(ط) ترفع المكعبات من الماء عند موعد اختبارها وتمسح أسطحها لإزالة ماجها من الماء السطحى وأى بروزات سطحية بسيطة ؛ وتختبر مباشرة ثلاثة مكعبات وهى لا تزال مبتلة لتعيين مقاومة الضغط بعد ثلاثة أيام ، ثم ثلاثة مكعبات أخرى تحت نفس الظروف السابقة بعد ٧ أيام على أن تحسب المدة من نهاية عملية هز قوالب الاختبار .

(ك) توضع المكعبات على أحد جوانبها فى مكنة الاختبار على ألا يستعمل السطح غير الملامس لاوجه القالب كما لا يوضع أى شىء بين سطحى مكنة الاختبار خلاف ألواح من الصلب الصلد .

ويجب أن يرتكز أحد سطحى مكنة الاختبار على مرتكز كروى (بلية) لضبط عملية التحميل تلقائيا ، ويراعى أن يكون التحميل من الصفر ويزداد تدريجياً وبانتظام بمعدل قدره ٣٥٠ كجم / سم٢ فى الدقيقة .

(س) تحسب مقاومة ضغط مونة الأسمنت والمعبر عنها باجهاد الضغط كما يلى :

$$\text{اجهاد الضغط} = \frac{\text{حمل التهشيم (متوسط ثلاثة مكعبات)}}{\text{المساحة المعرضة لهذا الحمل}} \quad \text{كجم/سم}^2$$

٧ — اختبار مقاومة الشد للأسمنت سريع التصلد بعد يوم واحد :

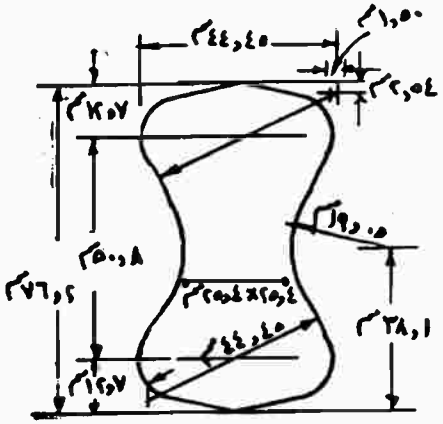
هذا الاختبار اختيارى ويشمل طريقة تعيين مقاومة الشد للأسمنت سريع التصلد بعد يوم واحد من اختبار طوبيات من مونة الأسمنت .

الأجهزة :

(ا) قوالب الاختبار :

يكون القالب من معدن لايتأثر بالأسمنت وأسطحه مصقولة وأجزاؤه ملتصقة تماما عند تجميعها ويكون شكله وأبعاده بحيث تعطى طوبية مونة الأسمنت المبينة أبعادها القياسية بالشكل رقم (٢ – ٤٢)

يزود قالب الاختبار بقاعدة من لوح معدنى مستوى السطح ومصقول تماما مع مراعاة أن تكون أبعاده بحيث تسمح بارتكاز قالب الاختبار عليه دون حدوث أى تسرب أثناء عملية ملء القالب .



شكل رقم (٢ – ٤٢) الأبعاد القياسية لطوبية اختبار الشد لمونة الأسمنت البورتلاندى سريع التصلب

(ب) مضرب قياسى من الصلب بيد خشبية تكون أبعاده كالأبعاد المبينة شكل رقم (٢ – ٤٣) ولايزيد وزنه الكلى على ٢٤٠ جم ويقع مركز ثقله فى حدود ٦,٣٥ مم من منتصف محوره الطولى .

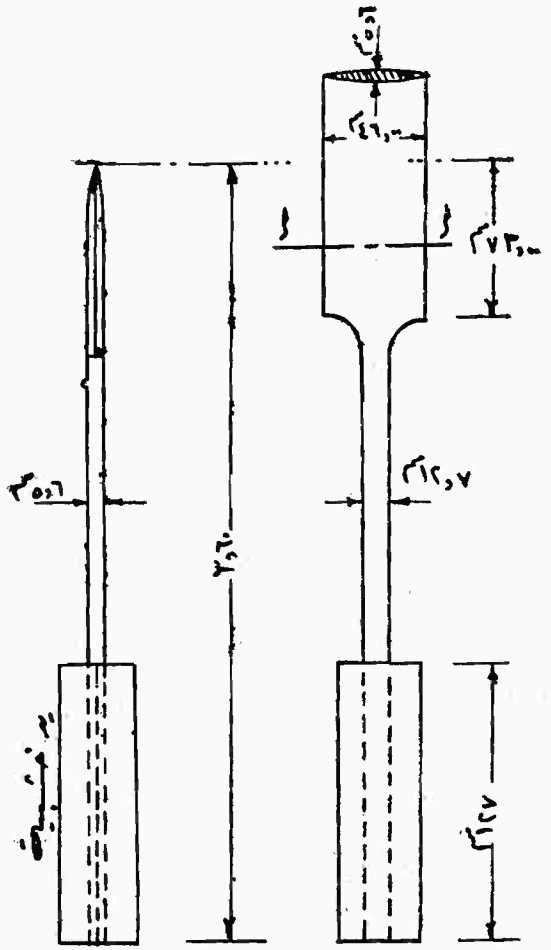
الطريقة :

(ا) تحضر الكميات اللازمة لعمل ست طوبيات من مونة الأسمنت بنسبة جزء

واحد بالوزن من الاسمنت إلى ثلاثة أجزاء بالوزن من الرمل القياسى المبين بالاختبار رقم٦

(ب) يعد قالب الاختبار بربط جزأيه،ووضعه مرتكزاً على القاعدة ، وتغطية أوجهه الداخلية والقاعده بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف .

(جـ) يخلط الأسمنت مع الرمل الجاف بالمسطرين على سطح مستو غير مسامى لمدة دقيقة واحدة ثم يضاف الماء بنسبة ٨ ٪ من مجموع وزنى الأسمنت والرمل الجاف وتخلط المونة خلطاً جيد المدة أربع دقائق . ويراعى أن تكون أجهزة الخلط نظيفة وأن تكون درجة حرارة الأسمنت والرمل والماء وحرارة الغرفة فى حدود ١٨ — ٢٤ درجة مئوية .



شكل رقم (٢ — ٤٣)
المضرب القياسى المستعمل فى اختبار الشدلونة الأسمنت

(د) توضع المونة بعد خلطها مباشرة فى قوالب الاختبار وبعد ملء القالب توضع كومة صغيرة عليه من نفس المونة وتضرب بالمضرب إلى أن يتساوى سطح المونة مع حافة القالب ثم يكرر وضع كومة صغيرة من المونة على الوجه الآخر وتضرب حتى يظهر الماء على السطح وبعد ذلك تسوى أسطح القوالب بسلاح المسطرين . ويراعى ألا يستعمل فى الضرب سوى السطح المسطح من المضرب .

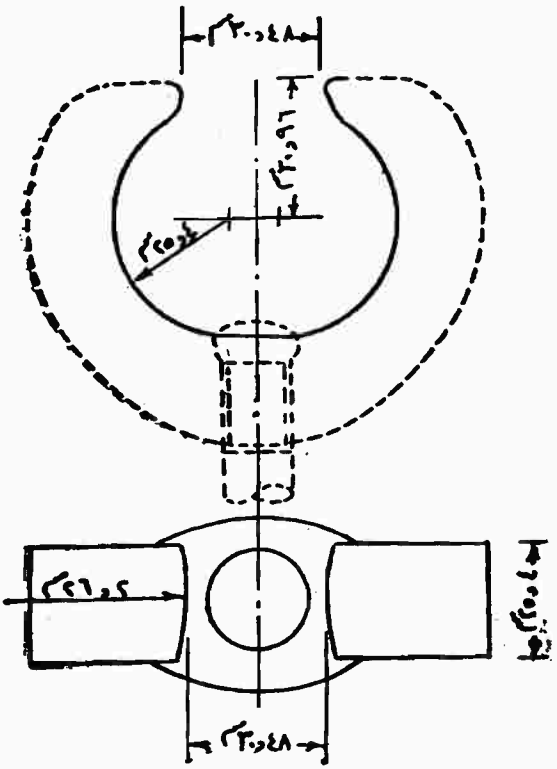
(هـ) تحفظ القوالب فى جو لا تقل رطوبته النسبية عن ٩٠ ٪ ودرجة حرارته ٢٠°م

(± درجة واحدة مئوية) لمدة ٢٤ (± ½ ساعة) محسوبة من نهاية الخلط ثم ترفع طوبيات مونة الأسمنت من قوالب الاختبار لتختبر مباشرة وهى لاتزال رطبة .

(و) يوضع كل قالب بين مقبضى مكنة الاختبار (شكل رقم ٢ــ ٤٤) ويحمل بحمل يبدأ من الصفر ويزادد تدريجياً بانتظام بمعدل ٤٠ كجم فى كل ١٠ ثوان وذلك حتى الكسر .

(ز) تحسب مقاومة شد مونة الأسمنت والمعبر عنها باجهاد الشد كما يلى :

$$\text{اجهاد الشد} = \frac{\text{حمل الشد (متوسط ٦ طوبيات)}}{\text{المساحة المعرضة لهذا الحمل}} \quad \text{كجم/سم}^2$$



شكل رقم (٢ــ٤٤) مقبض قالب اختبار الشد فى مكنة الاختبار

(ج) الطرق القياسية للتحليل الكيميائى للاسمنت البورتلاندى

المجال :

تختص هذه المواصفات بالطرق القياسية للاختبارات الكيميائية للأسمنت البورتلاندى .

تجهيز العينات :

يجب مراعاة الشروط الآتية عند اختيار العينات للاختبار :

١ ــ تختار عينات الأسمنت من المصنع أو مكان التوريد أو عند التشوين فى موقع التسليم حسب الاتفاق بين البائع والمشترى وفى حضورهما أو حضور من ينوب عنهما ، وبحيث تكون العينات ممثلة لكل صنف على حدة من كل رسالة .

٢ ــ فى حاله الأسمنت المعبأ فى عبوات :

يراعى الا تمثل العينة الواحدة أكثر من ١٠٠ طن من الرسالة الواحدة ذات الصنف الواحد والواردة من مصدر واحد ، وذلك مالم يتفق على غير ذالك بين البائع والمشترى.

يختار ــ حيثما اتفق ــ عدد من العبوات بواقع الجذر التكعيبي على الأقل من العدد الكلى لعبوات الرسالة : تسحب كميات مناسبة من محتويات كل عبوة من العبوات المختارة بحيث لا يقل مجموع أوزان الكميات المسحوبة عن ٥ كجم، ثم تخلط جيداً للحصول على عينة متجانسة تمثل الرسالة تمثيلا صحيحاً . توضع العينة فى وعاء من مادة عازلة للرطوبة وغير منفذه للهواء ، ويغلق بإحكام .

٣ ــ فى حالة الأسمنت السائب :

تؤخذ كميات مناسبة من أماكن مختلفة وموزعة بطريقة جيدة وعلى أعماق مختلفة من الرسالة بحيث تكون الكميات المأخوذة ممثلة لها . ويتم أخذ هذه الكميات باستخدام أنابيب أخذ العينة أو أية طريقة أخرى مناسبة . تخلط الكميات المأخوذ ، ثم تقسم بطريقة التجزئ الربعى للحصول على عينة متجانسة تمثل الرسالة تمثيلا صحيحاً ولا يقل وزنها عن ٥ كجم ، وتوضع فى وعاء من مادة عازلة للرطوبة وغير منفذة للهواء ، ويغلق بإحكام .

المواد المستخدمة فى الاختبارات الكيميائية .

يراعى فى إجراء الاختبارات الكيميائية التالية وكذلك فى تحضير الكواشف مايلى:

١ ــ أن يكون الماء المستخدم مقطراً .

٢ ــ أن تكون جميع المواد المستخدمة من صنف « كاشف تحليلى » .

٣ ــ أن يستخدم الماء المقطر كمذيب ما لم ينص على غير ذلك .

تجهيز العينة للاختبار :

تخلط العينة قبل الاختبار خلطاً جيداً ، ثم تنخل خلال منخل قياسى مقاس فتحته ٠,٨٤ مم (منخل ٨٤٠ ميكرون) وذلك لتكسير أى كتل متجمعة قد تكون موجودة ولإزالة المواد الغريبة .

تجفف العينة المأخوذة للاختبار عند درجة حرارة من ١٠٥ إلى ١١٠°م حتى يثبت الوزن .

طرق الاختبار

(ا) عدد مرات إجراء التقديرات لكل اختبار والاختلافات المسموح بها .

يجرى كل اختبار مرتين وفى أيام مختلفة . يجب ألا يزيد الاختلاف بين النتيجتين على الحد الاقصى المبين فى الجدول . وإذا زاد الاختلاف بين النتيجتين على هذا الحد تكرر عملية التقدير حتى تتفق نتيجتان أو ثلاث نتائج فى حدود الاختلاف المبين فى هذا الجدول وتكون القيمة الصحيحة هى متوسط النتيجتين أو النتائج الثلاث التى اتفقت فى حدود الاختلاف المبين فى الجدول . وتحسب نتائج النسب المئوية للمواد المقدرة إلى أقرب ٠,٠١ .

وإذا كانت عملية التقدير تقتضى إجراء اختبار ضابط ، فيجرى هذا الاختبار الضابط فى نفس اليوم الذى تجرى فيه عملية التقدير .

توزن عينات الاختبار المستخدمة فى التقدير وكذا الرواسب الناتجة إلى أقرب ٠,٠٠٠١ جم .

الحد الأقصى للاختلاف المسموح به فى نتائج الاختبارات

المكونات	الحد الاقصى المسموح به للاختلاف	
	بين نتيجتين	بين القيم المتطرفة لثلاث نتائج
١ — ثانى أكسيد السليكون	٠,١٦	٠,٢٤
٢ — أكسيد الألومنيوم	٠,٢٠	٠,٣٠
٣ — أكسيد الحديديك	٠,١٠	٠,١٥
٤ — أكسيد الكالسيوم	٠,٢٠	٠,٣٠
٥ — أكسيد المغنسيوم	٠,١٦	٠,٢٤
٦ — ثالث أكسيد الكبريت	٠,١٠	٠,١٥
٧ — الفقد فى الوزن بالحرق	٠,١٠	٠,١٥
٨ — المواد غير القابلة للذوبان	٠,١٠	٠,١٥
٩ — أكسيد الكالسيوم الطليق	٠,٢٠	٠,٣٠
١٠ — أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم	٠,٠٣ ٠,٠٣٥٠	٠,٠٥٠٥
١١ — خامس أكسيد الفوسفور	٠,٠٣	٠,٠٥
١٢ — أكسيد المنجنيز	٠,٠٣	٠,٠٥

(ب) الاختبارات :

١ — تقدير ثانى أكسيد السليكون :

تذاب عينة معلومة الوزن من الأسمنت فى حمض هيدروكلوريك — ثم ترشح السليكا الناتجة وتحرق وتوزن ثم تعامل بحمض هيدروفلوريك ويحرق المتبقى ويوزن — وتكون السليكا هى الفرق بين الوزنين الأخيرين .

٢ — تقدير المجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم :

يجرى الترسيب بمحلول هيدروكسيد الأمونيوم ١ : ١ ، ويحرق الراسب ويوزن ويكون هو المجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم مقدرة كأكاسيد .

٣ — تقدير أكسيد الحديديك :

يجرى تقدير الحديد بالطريقة الحجمية بالمعايرة بمحلول ثانى كرومات البوتاسيوم

الفياسى مستخدما ثنائى فينيل أمين سلفونا الباريوم كدليل .

٤ ــ تقدير أكسيد الألومنيوم .

النسبة المئوية لأكسيد الألومنيوم = ا ــ (ب + حـ) .

حيث :

(ا) النسبه المئوية للمجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم .

(ب) النسبة المئويه لأكسيد الحديديك .

(حـ) النسبة المئوية لخامس أكسيد الفوسفور .

يجرى تقدير خامس أكسيد الفوسفور بطرح نسبته المئوية من نسبة المجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم فى حالة عدم مطابقة العينة للمواصفات المطلوبة .

يراعى أن أى تيتانيوم موجود فى العينة يتم ترسيبه مع أكسيد الحديديك وأكسيد الألومنيوم ضمن المجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم ولذا تتضمن النسبة المئوية لأكسيد الألومنيوم المحسوبة بالطريقة سالفة الذكر النسبة المئوية لأكسيد التيتانيوم التى قد تكون فى العينة .

٥ ــ تقدير أكسيد الكالسيوم :

يرسب الكالسيوم من الرشح المحتفظ به من تقدير المجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم وذلك باستخدام أكسالات الأمونيوم ؛ ويحرق الراسب ويوزن على هيئة أكسيد كالسيوم .

٦ ــ تقدير أكسيد المغنسيوم :

يرسب المغنسيوم من الرشيح المحتفظ به من تقدير أكسيد الكالسيوم وذلك باستخدام فوسفات الأمونيوم أحادية الهيدروجين ، ويحرق الراسب ويوزن على هيئة بيروفوسفات المغنسيوم .

٧ ــ تقدير ثالث أكسيد الكبريت :

ترسب الكبريتات بكلوريد الباريوم وتحرق كبريتات الباريوم الناتجة وتوزن وتحسب على هيئة ثالث أكسيد كبريت .

٨ ــ تقدير الفقد فى الوزن بالحرق :

تحرق عينة معلومة الوزن عند درجة حرارة من ٩٥٠ إلى ١٠٠٠ مئوية وحتى يثبت

الوزن . تعدل طريقه العمل فى حالة الأسمنت البورتلاندى الخبث .

٩ ــ تقدير المواد غير القابلة للذوبان :

يعامل وزن معلوم من العينة بحمض هيدرو كلوريك ويرشح ثم يعامل الراسب الناتج بمحلول هيدروكسيد صوديوم وبرشح ويحرق المتبقى ويوزن .

١٠ ــ تقدير أكسيد الكالسيوم الحر فى مذيب من الجليسرول والايثانول ثم يعاير بمحلول خلات الأمونيوم القياسى .

١١ ــ تقدير الكبريت الموجود على هيئة كبريتيد :

تعامل العينة بمحلول كلوريد القصدير وحمض الهيدروكلوريك . يمرر كبريتيد الهيدروجين الناتج فى محلول كبريتات الزنك النوشادرية وتجرى معايرة الناتج بمحلول يودات البوتاسيوم القياسى .

١٣ ــ تقدير أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم :

يقدر أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم معاً على هيئة كبريتات الصوديوم وكبريتات البوتاسيوم ويقدر أكسيد البوتاسيوم على هيئة كلوروبلاتينات البوتاسيوم ويجفف ويوزن ثم يقدر أكسيد الصوديوم بالفرق .

١٣ ــ تقدير خامس أكسيد الفوسفور :

يقدر خامس أكسيد الفوسفور بترسيب الفوسفات بالعينة بواسطة موليبدات الأمونيوم ثم إذابة الراسب الناتج فى هيدروكسيد الأمونيوم وإعادة الترسيب بمزيج المجنيزيا ثم حرق الراسب الناتج ووزنه على هيئة بيروفسفات المغنسيوم.

١٤ ــ تقدير أكسيد المنجنيز :

يقدر أكسيد المنجنيز بالمعايرة بمحلول قياسى من زرنيخيت الصوديوم .