

الباب الثاني

الاسمنت

مقدمة :

أولاً : ما هو الاسمنت البورتلاندى

ثانياً : تطور الاسمنت البورتلاندى

ثالثاً : صناعة الاسمنت

(أ) طرق صناعة الاسمنت (ب) استخلاص الخامات وتجهيزها .

(ج) خلط وطحن المواد الأولية (د) حرق المواد الأولية في الأفران.

(هـ) طحن الكلنكر والتحكم في الشك (و) التبريد والنقل

رابعاً : مكونات الاسمنت البورتلاندى وخواصه الكيميائية

خامساً : الخواص الفيزيائية والميكانيكية للأسمنت البورتلاندى

(أ) النعومة (ب) الكثافة النوعية (ج) الشك والتصلد

(د) المقارنة (هـ) ثبات الحجم

سادساً : أنواع الاسمنت البورتلاندى

(أ) مبكر المقاومة العالية (ب) منخفض الحرارة (ج) أبيض

(د) ملون (هـ) ذو هواء محبوس (و) سدود للبا.

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

سابعاً : بعض الأنواع الأخرى من الاسمنت

(أ) الاسمنت الطبيعي (ب) الاسمنت طلي الألومينا

(ج) الاسمنت المخروط (كرنك)

ثامناً : مقارنة لتركيب وخواص أنواع الاسمنت المختلفة

تاسعاً : الاختبارات الطبيعية والميكانيكية والتحليل الكيميائية للأسمنت

(أ) نبذة تاريخية عن تطور طرق الاختبار للواد الاسمنتية .

(ب) المواصفات القياسية للأسمنت البورتلاندى المادى والأسمنت البورتلاندى

سريع التصلد . م . ق ٢٧٣ / ١٩٦٣ .

(ج) الطرق القياسية لتحليل الكيميائى للأسمنت البورتلاندى . م . ق ٤٧٤ / ١٩٦٣

مقدمة :

إن للأسمنت ومواده والخرسانة التي أسهم في تكوينها قصة قديمة تضرب بعيداً في أعماق التاريخ بالرغم مما يبدو لنا من حداثة معرفتنا به كأسمنت بورتلاندى وخرسانية . ولعل أصل مواد الأسمنت التي تترأى لنا في أفق التاريخ البعيد تلك المادة التي نسميها اليوم بالجير العادى والجير الهيدروليكي (المائى) .

والجير العادى باختصار ، عبارة عن حجر جبرى نقي تم تكليسها فأنتج ما يعرفه بالجير الحى . وبعد إطفاء الجير الحى بالماء يستخدم بعد خلطه بالرمل ليسكونا المونة التي تتجمد وتتماسك وتقوى نتيجة امتصاص الجير ثنائى أكسيد الكربون من الجو فيتحول بذلك أ ذسيد الكلسيوم إلى كربونات الكلسيوم أى إلى طبيعته الأولى كحجر جبرى قبل لإجراء عملية التكليس عليها .

وفى الجانب الآخر يمكننا أن نرى الجير الهيدروليكي الذى له خاصية التماسك والتجمد والتقوى تحت الماء أو فى الهواء وتنتج هذه المادة من تكليس الحجر الجبرى غير النقي والذى يحتوى على سليكا وألومينا وأكسيد الحديد والتي تعطى له خاصية التجمد تحت الماء .

وقد كان قدماء المصريين أول من أدلى بدلوهم فى ميدان استعمالات المواد الاسمنتية الناتجة من الجير والجبس . ثم جاء الاغريق والرومان فاستعملوا الحجر الجبرى بعد تكليسها وانتجوا بعد ذلك الاسمنت البوزولانى وذلك بعد طحن خليط من الجير والثراب البركاني 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 كأداة أسمنتية فى مبنى الاقزام وقد ظل هذا المبنى مغموراً تحت الماء فى ميناء بوزولى لمدة تزيد عن ألفى سنة .

وقد استعمل الاغريق مادة مماثلة أسموها سانتورين توبا (Santorin Toba) من جزيرة سانتورين (Santorine) وكانت الخرسانة الناتجة تتكون من هذا الاسمنت البوزولانى والركام والجير . وهناك الكثير من الابنية القائمة حتى اليوم شاهدة على

امتياز الاسمنت البوزولاني وتفوقة على الجير العادي . كما تشهد أيضا أن الاغريق والرومان قد تقدموا بإنتاج المواد الاسمنتية .

أما الفترة التالية من تاريخ إنتاج الاسمنت في العصور الوسطى وقد شاهدت تأخرأ في طريقة صنع المواد الاسمنتية والخرسانة ورجوعا لمبادئ العصر القديم .

وفي هذا العصر أمكت مواد الاسمنت البوزولاني وتدهورت صناعة الجير وأصبحت المونة الجيرية رديئة إلى أن كانت الفترة التي قع بين القرنين الخامس عشر والسادس عشر حيث ظهرت تحسينات تدريجية واتجاهات نحو استعمال الاسمنت البوزولاني .

وفي سنة ١٧٥٦ كلف البرلمان البريطاني ، المهندس جون سميثون (John Smeaton) ببناء منارة إديستون (Eddy Stone) القريبة من ساحل كورن وول (Corn Wall) في إنجلترا وكانت هذه المنارة في موقعها عرضة لكثير من الزوابع فكانت الحاجة ماسة إلى مادة قوية متماسكة لها صفة الدوام . لذلك قام سميثون بعدة تجارب على عدد من أنواع الجير والاسمنت البوزولاني التي أجري عليها الاختبارات العديدة في كل من الماء العذب والمالح ليرى مدى احتمال تأثير كل من نوعي الماء على خرساتهما . وكان من أهم نتائج تجاربه أن الحجر الجيري غير الصلب وغير النقي والذي يحتوي على مواد طينية يعطى أسمتا هيدروليكية من أجود الأنواع . واستخدم هذا النوع من الاسمنت الهيدروليكي في بناء منارة إديستون .

وبعد أربعين سنة أكتشف جوزيف باركر (Joseph Parker) من بلدة نورث فليت (North Fleet) بإنجلترا أن مزيدا من الحجر الجيري غير النقي ينتج أسمتا مائيا ممتازا وهو ما يسمى بالاسمنت الروماني نظرا لأن تكوينه ولونه لا يختلفان عن الاسمنت الروماني القديم .

وفي سنة ١٨٠٢ أمكن إنتاج أسمنت من هذا النوع في فرنسا وكان هذا بداية إنتاج الاسمنت في تلك البلاد .

وفي سنة ١٨١٠ توصل أدجار دوبيز (Edgar Dobbs) من بلدة سوث ويك (South Wik) بإنجلترا إلى أسمنت ناتج من الحجر الجيري والطين . وفي سنة ١٨١٢ أيدأ فيكات الفرنسي (Vicat) ثم جيمس فدوست الإنجليزي في سنة ١٨٢٢ في إنتاج الاسمنت من الحجر الجيري والطين ، وكانت الخطوة التالية في تاريخ الاسمنت هي

١٠ - خرسانة

إنتاج الاسمنت الطبيعي الذي يعتمد على أحجار الاسمنت التي تنتج مادة أسمنتية عند تكليسها وطحنها . ويعتمد الاسمنت الطبيعي على التركيب الكيميائي للواد التي تتكون منها الاحجار المستخرجة من المحاجر . فكانت هذه الصخور تحرق في الأفران القائمة (Shaft Kilns) التي تشبه إلى حد ما أفران الجير القديمة ثم تطحن لتصير اسمنتا في صورته النهائية .

ولا يزال الاسمنت الطبيعي يفتج إلى الآن في الولايات المتحدة الأمريكية وبعض البلاد الأخرى وهو أقوى بكثير من الجير المائي .

وكان آخر فروع من اكتشافات هذه السلسلة هو اكتشاف الاسمنت البورتلاندي الذي اكتشفه جوزيف آسبين (Joseph Aspdin) البناء الانجليزي شكل رقم (٢-١) وما يجدر ملاحظته أن سميون (Smeaton) قبل ٦٨ عاما كان قد أعلن عن نتائج



شكل رقم (٢ - ١) أسبين البناء الانجليزي أثناء إجرائه إحدى تجاربه

أبحاثه التي أكدت عمل أسمنت يضاهي الأسمنت البورتلاندى من حيث الجودة والصلادة وغير ذلك . ويرجع اسم بورتلاندى إلى تشابه صلادة الأسمنت البورتلاندى مع بعض أحجار البناء الموجودة في جزيرة بورتلاندى بإنجلترا .

ومن المواصفات الواردة في براءة اختراع أسيدن يقين بوضوح أنه أنتج أسمنتا طبيعيا أكثر امتيازاً وإن كان لا يقارن إطلاقاً بالأسمنت البورتلاندى الحال .

وقد أنشئ أول مصنع بإنجلترا لإنتاج الأسمنت البورتلاندى الذي اكتشفه أسيدن في سنة ١٨٢٥ .

ومنذ أن ظهرت براءة اختراع أسيدن عكف المهندس ببلى (Bassey) بسلاح المهندسين بإنجلترا على أبحاث هذا النوع من الأسمنت . وبعد اثني عشرة سنة أي في سنة ١٨٣٧ نشر نتائج بحوثه ومن ذلك التاريخ أصبحت صفات الأسمنت البورتلاندى وخصائصه معروفة وظهرت صلاحيته وقوته على الأسمنت الطبيعي . وأول مصنع أنشئ خارج إنجلترا لصناعة الأسمنت كان في بلجيكا وألمانيا في سنة ١٨٥٥ . وفي سنة ١٨٧٠ أنشئ أول مصنع له في الولايات المتحدة الأمريكية وأخذت هذه الصناعة منذ ذلك الوقت تنتشر في أمريكا حتى أصبح بها الآن ١٦٦ مصنعا للأسمنت بأنواعه العديدة .

ثم توالى انتشار صناعة الأسمنت واستعماله في كل بلاد العالم بحفظة للأسمنت الناتج بهذا الاسم الذي سجله أسيدن البناء الإنجليزي في سنة ١٨٢٥ .

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

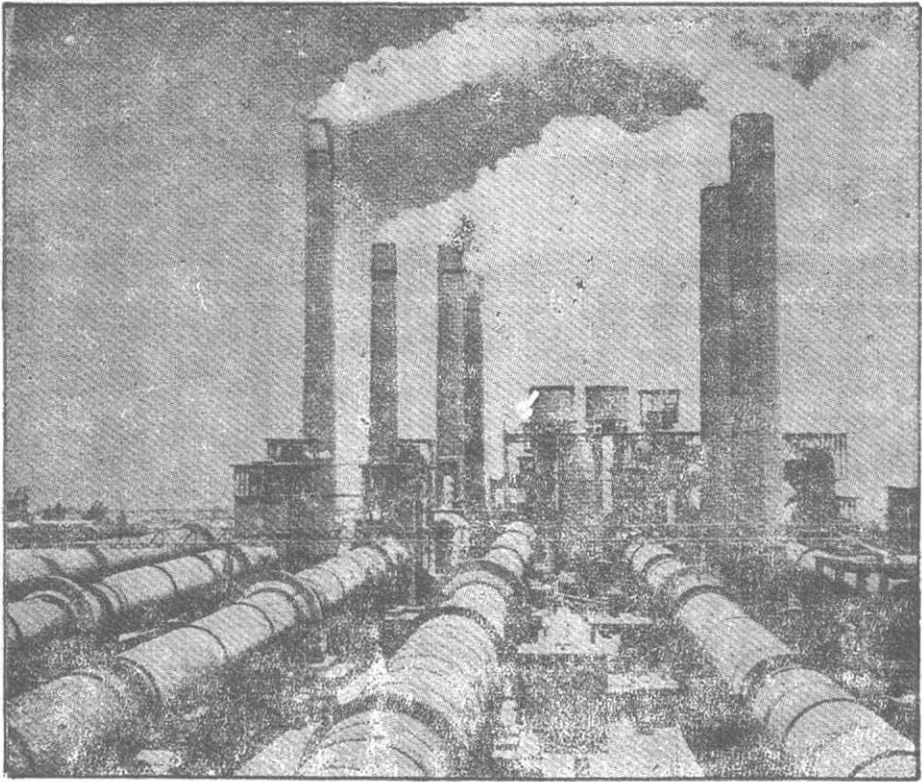
وفي سنة ١٩١١ أقيم مصنع صغير بالاسكندرية لإنتاج أسمنت طبيعي من مادة غلم مستوردة من دد الماسيا ، بيوغوسلافيا وتوقف عن الإنتاج أثناء الحرب العالمية الأولى ثم عاد إلى العمل بغير النظام حتى توقف نهائيا سنة ١٩٣٦ .

وفي سنة ١٩٢٧ تأسست شركة أسمنت بورتلاندى طرة المصرية وبدأ مصنعها الذي أقيم بحجة دطرة في الإنتاج سنة ١٩٢٩ بالطريقة الرطبة والأفران الدوارة (Rotary Kilns)

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

وفي فبراير سنة ١٩٢٩ تأسست شركة أخرى للأسمنت البورتلاندى بملوان وبدأ المصنع شكل رقم (٢-٢) في الإنتاج في مايو سنة ١٩٣٠ بفرن واحد يعمل بالطريقة الرطبة وكانت طاقته الإنتاجية ٩٥,٠٠٠ طن في السنة ثم زيدت أفرانها حتى بلغت سنة مجموع طاقتها الإنتاجية ٩٠٠ ألف طن سنوياً .

وفي 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 - ٢) مصنع شركة الأسمنت البورتلاندى بملوان

وفي سنة ١٩٥٦ تأسست الشركة القومية لإنتاج الاسمنت وأقيم مصنعها بحجة التبين ، قرب حلوان لينتج أسمنت بورتلاندى بالإضافة إلى أسمنت بورتلاندى حديدى ، الذى يعتمد على جليخ الحديد (Slag) ويعتمد المصنع على فرنين تقدر طاقتها الإنتاجية بحوالى ٤٢٠,٠٠٠ طن فى السنة وبذلك يصبح مجموع الطاقة الإنتاجية لصناعة الاسمنت البورتلاندى والحديدى بمصر نحو ٣,٣٧٠,٠٠٠ طن سنوياً يقوم بإنتاجها أربعة عشر فرنأ دوارا تعمل بالطريقة الرطبة .

وقد عمد القائمون على صناعة الاسمنت فى مصر منذ إنشائها على تتبع التطور الحديث لهذه الصناعة لحصلت على أحدث الاجهزة والآلات وخففت تكاليف الإنتاج ما أمكن وأنتجت أنواعاً مختلفة من الاسمنت حسب احتياجات البلاد من الاستهلاك المحلى وهى :

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

لولا : 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 اللاحقة فى المواصفات المختلفة .

بريطانيا :

يصنع الاسمنت البورتلاندى من خليط المواد الكلسية (Calcarious) والطينية (Argillaceous) أو مواد تحتوى على سليكا وألومينا وأكسيد حديد ولا يضاف لمناجج الخليط بعد الحرق إلا كبريتات الكالسيوم أو الماء أو كلاهما .

الولايات المتحدة الأمريكية :

يصنع الأسمنت البورتلاندى بحرق مواد كلسمية وطينية بعد خلطهما جيدا ثم يطحن الكلنكر (Clinker) المنحصل 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 ($Al_2 O_3$) + أكسيد حديد ($Fe_2 O_3$) 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 للدرجة 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) للدرجة التسميت على أن تكون هذه المواد مخلوطة قبل عملية الحرق خلطا تاما جيدا بنسبة معينة مع عدم إضافة أى مادة أخرى بعد الحرق سوى مادة الجبس — محروقة أو غير محروقة — والماء .

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

أانيا : تطور الأسمنت البورتلاندى :

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

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

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

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

وفي خلال السنوات القليلة التي تلت تشغيل الأفران الدوارة كان هناك تقدم وتحسينات مستمرة عليها منها زيادة طولها وقطرها وقدرتها الإنتاجية كما زادت استعمالات الآلات والأجهزة الأوتوماتيكية في الفرن بدلاً من العمل اليدوى .

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

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

أما عملية الطحن والتي تعتبر في المرتبة الثانية من الأهمية بالنسبة لعملية التكليس في صناعة الاسمنت البورتلاندى فما زالت تلعب دوراً هاماً وكبيراً في كية الإنتاج ودرجة جودته .

وعملية الطحن تساهم في عملية إنتاج الاسمنت بخطوتين :

الاولى — عند تجهيز المواد الأولية قبل حرقها في الأفران .

والثانية — بعدما عند طحن الكلنكر لتكوين الإنتاج النهائي .

ودرجة النعومة المطلوبة لها علاقة كبيرة بنشاط وفاعلية وخواص الاسمنت النهائي لذلك تطورت عملية الطحن في نطاق واسع تبعاً لمطالب العمل ونتيجة للتأثير الكبير الذى يفتح عنها .

ولكن هذه التحسينات مهما بلغت فإنها لم تصل في نتيجتها إلى التغير الحام في صناعة الاسمنت البورتلاندى نتيجة الانتقال الرائع من استعمال الافران القائمة (ذات الاسطوانات الرأسية) إلى الافران الدوارة .

ونتيجة لتطبيق استعمال الطواحين ذات الاقسام الداخلية سواء في طحن المواد أو الكانكر تمكن الإنتاج النهائى من الوصول إلى درجة كبيرة من الجودة مع الاقتصاد الظاهر في الطاقة المبذولة لإنتاج الاسمنت .

وقد تحسن تأثير وفعالية الطحن تحسناً ظاهراً بعد استعمال هذا النوع من الطواحين بدلاً من الطواحين الاسطوانية . وبعد سلسلة التجارب العديدة استقر الرأى على استعمال الطواحين ذات الاقسام والتي سهلت عملية الطحن ، وكان الهدف الرئيسى من البحوث في هذا المضمار هو الوصول بعملية الطحن إلى درجة معينة يمكن بها ضمان الوصول إلى الخواص الكيميائية والطبيعية للأسمنت الناتج وبالحُدود التي يتطلبها العمل . فبذل ثمانين سنة كانت المواصفات القديمة التي وضعتها الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (A. S. T. M.) تنص على أنه يجب أن يمر ٧٥٪ من ناتج الطحن من منخل رقم ٢٠٠ أما في الوقت الحاضر فقد أصبح مرور من ٨٥٪ إلى ٩٥٪ من منخل رقم ٢٠٠ ليس بالصير .

أما إذا حسبنا درجة النعومة بطريقة المساحة السطحية كما عرفها فاجنر (Wagner) فقد كان الاسمنت القديم يعطى كل جرام منه مساحة سطحية تساوى ١٢٠٠ سم^٢/جم في حين أن الاسمنت الحالى لا تقل المساحة السطحية له عن ١٧٠٠ سم^٢/جم .

ونفس الوضع يجب مراعاته بالنسبة لتحضير المواد الخام لتغذية الفرن إذ كان المتبع قديماً أن تسحق المادة الخام حتى يمر ٩٪ منها من منخل رقم ١٠٠ التي تعادل في درجة نعومتها ٧٥٪ تقريباً من منخل رقم ٢٠٠ فقد كان المتبع في ذلك الوقت أن تطحن المادة الخام قبل دخولها الفرن إلى نفس درجة النعومة المطلوبة في الاسمنت الناتج .

وعما لا شك فيه أن طرق الاختبارات المحدودة التي كانت معروفة في ذلك الوقت لتحديد تأثير النعومة على خواص الاسمنت من ناحيته الطبيعية والكيميائية كانت كافية لتحديد النعومة بالدرجة السابق ذكرها وكانت كافية أيضاً لتحديد كمية الجير الحى بدرجة لا تؤثر على الإنتاج النهائى للأسمنت .

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

أما في 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 الاسمنت فقد أصبحت درجة نعومة المواد الخام تعتمد اعتماداً كبيراً على النوع المطلوب من الاسمنت لئلا يندى .

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

كما أن طحن المواد الخام الطينية والجيرية التي تكون متدرجة في مقاساتها قد أدخلت عليها تحسينات بفرض الحصول على درجة النعومة المطلوبة .

وبالرغم من أن هذه النقطة لم تبحث على نطاق واسع إلا أنه من المنتظر أن يصبح الطحن المتدرج أكثر استعمالاً وبصفة خاصة إذا كانت المواد الخام الجيرية والطينية مختلفة في درجة قابليتها للعجن . وتوزيع جميع المواد الأولية المكونة للأسمنت في مقاسات حيوية مختلفة له تأثير كبير على التوزيع الحجمي النهائي لمركبات الاسمنت الناتجة . وما لم يتوافر هذا التوزيع المتوازن فإن التفاعلات المبكرة غير العادية سوف تحدثه .
هذا بالإضافة إلى أن خبرة ثلاثة أرباع قرن في صناعة الاسمنت قد أثبتت أنه إذا كانت هناك كميات زائدة مقاسها أصغر من الميكرون يكون لها نفس التأثير السيئ الناتج من وجود كميات زائدة من المقاسات الكبيرة في عمليات الحريق .

وقد أثبتت التجارب والحقائق أن المقاس الحبيبي المتظم للواد الأولية يعطى أفضل النتائج بشرط ألا يكون هذا المقاس الحبيبي المتظم كبيراً نسبياً .

وتتووع طرق الفصل الجببى فى الطريقتين الجافة والرطبة فى صناعة الاسمنت يعطى إمكانيات أكيدة لتطور وتحسينات فى المستقبل فى هذا المضمار .

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

وكان الاسمنت 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 الاسمنت البورتلاندى لا يحتوى على أكثر من ٤٠ ٪ من ثلاثى سليكات الكالسيوم كما حسبت بطريقة بوج (Bogue) بمتوسط حوالى ٣٣ ٪ وهو يخالف تركيب الاسمنت الحالى حيث أن نسبته الآن تتراوح بين ٤٥ ٪ إلى ٥٠ ٪ وبعد أقصى قيمته ٦٥ ٪ للأسمنت مبكر المقاومة العالية (High Early Strength) .
وحيث أن مقاومة الاسمنت فى فترة الاربعة أسابيع الأولى تتوقف إلى حد كبير على كمية ثلاثى سليكات الكالسيوم فن هذا تبدو لنا الأهمية المعقودة على زيادة كمية الجير فى الاسمنت .

ومن المعروف نظرياً أن زيادة نسبة الجير ينتج عنها زيادة نسبة الجير الحى الحر
جدول رقم (٢-١) — مقارنة بين تركيب الاسمنت فى الماضى والحاضر

الاسمنت القديم	الاسمنت الحديث	تركيب الاسمنت
٢١,٧	٢١,٠٠	Si O ₂ سليكا
٧,١٠	٦,٥٠	Al ₂ O ₃ الومينا
٢,٥٠	٢,٥٠	Fe ₂ O ₃ اكسيد الحديد
٦٢,٢٠	٦٤,٠٠	Ca O اكسيد الكالسيوم
٣,٨٠	٢,٥٠	Mg O اكسيد ماغنسيوم
١,٦٠	٢,١٠	S O ₃ ثالث اكسيد الكبريت
٣٢,٨٠	٤٨,٠٠	C ₃ S سليكات ثلاثى الكالسيوم
٣٧,٠٠	٢٧,٠٠	C ₂ S سليكات ثنائى الكالسيوم
١٤,٢٠	١٢,٠٠	C ₃ A ألومينات ثلاثى الكالسيوم
٧,٧٠	٨,٠٠	C ₄ A F ألومينات حديد رباعى الكالسيوم

نتيجة لعدم تفاعله كلية أثناء التصلب ولكن يطمئنا في هذه الناحية زيادة النعومة لل مواد الحام والتحصينات التي أدخلت على الأفران والتي تقسب في تقليل نسبة الجير الحى الحر فى الأسمنت الحالى .

أما ثنائى سليكات الكالسيوم ذلك المركب المرافق لثلاثى سليكات الكالسيوم فقد وجد أن له تأثيراً كبيراً ومستولية 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 مسئولاً عن الظاهرة المعروفة باسم الالتئام الذاتى (Antegenous Healing) والتي بواسطتها تغلق التشققات الشعرية فى المونة أو الخرسانة فلا تسمح بفاذ 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 بإقلها إطلاقاً عن ١٠٪ مع مراعاة نوع الأسمنت المستخدم .

وقبل سنة ١٨٥٢ كان متوسط كمية ثنائى سليكات الكالسيوم فى الأسمنت البورتلاندى من ٢٥٪ - ٤٠٪ وأثناء الفترة بين سنة ١٩٢٦ وسنة ١٩٣٠ كان هناك تقليل تدريجى حتى وصلت فى أيامنا هذه إلى القيمة المتوسطة بين ٢٠٪ - ٣٠٪ ، وهذا التقص يرجع إلى الرغبة فى زيادة ثلاثى سليكات الكالسيوم التى زادت 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 التغيير لم يتجاوز ٢٪ فى خلال هذه الفترة وذلك نتيجة لانتظام التركيب الكيميائى لل مواد الطينية المستعملة على مر السنين .

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

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

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

مثال ذلك مقاومة الاسمنت للكبريتات وخفض الحرارة الناتجة أثناء التفاعل كما أن المدرسة الحديثة للاشاعات أخذت تطالب بالمقاومة العالية المبكرة للأسمنت ولم تقتصر على ذلك بل تفكر أيضاً في 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 طالى المقاومة تبلغ درجة نعومته في العادة محسوبة بطريقة فاجر من ٢٤٠٠ إلى ٣٠٠٠ سم^٢/جم . وقد تطور هذا الاسمنت وأمكن الوصول إلى كمية عالية من ثلاثي سليكات الكالسيوم بواسطة عملية الحريق المزدوج وبهذه العملية أيضاً أمكن التخلص من احتمال وجود كمية زائدة من الجير الحى الحر في الكلنكر وبالتالي أمكن استعمال كميات أكبر من الجير لضمان الحصول عن النسبة العالية المرغوبة من ثلاثي سليكات الكالسيوم .

وكان نتيجة لارتفاع سعر الاسمنت سريع التصلد ظهور تحسينات إضافية جديدة على الاسمنت البورتلاندى العادى فظهر في الولايات المتحدة الأمريكية نوع جديد من الاسمنت البورتلاندى العادى يتميز بزيادة درجة نعومته ويعطى مقاومة مبكرة وفي نفس الوقت لا تقل تكاليفه إلى تكاليف الاسمنت سريع التصلد والمساحة النوعية للسطح لهذا النوع تتراوح قيمتها من ٢٤٠٠ إلى ٣٥٠٠ سم^٢/جم .

والفرق الرئيسى بين هذا النوع من الاسمنت البورتلاندى القياسى ذى درجة النعومة العالية وبين الاسمنت سريع التصلد هو نسبة ثالك أكسيد الكبريت ، ففي الاول لا تتجاوز هذه النسبة ٢ ٪ بينما تسمح المواصفات في الثانى إلى تجاوز هذه النسبة إلى نسبة قصوى تصل إلى ٢,٥ ٪ كما أن الأبحاث الجارية للأسمنت سريع التصلد تتجه إلى

السباح بنسبة أكبر من ٠.٢٥٪ من ثالث أكسيد الكبريت .
وفي ختام الحديث عن تطور الاسمنت وعن مقارنة قديمه بحديثه وعن تفضيل
البعض لهذا أو لذاك يجدر ذكر تلك العبارة المشهورة للعالم الكبير أرثر كاساجراندي
(Arther Casagrande) حيث قال :

« كثيراً ما يسمع المرء عن حقائق تخص المنشآت المصرية والرومانية القديمة التي
عاشت وقاومت العوامل الجوية قروناً عديدة . ولكنا في نفس الوقت لم نسمع شيئاً
عن آلاف المباني التي أنشئت في نفس الوقت وتحولت إلى تراب مع مرور السنين » .
وهذه الحقيقة التي ذكرها أرثر تتفق تماماً مع أمانة المقارنة بين الاسمنت قديمه
الذي أنشئت به المنشآت السابقة وحديثه الذي أقيمت به منشأتنا .

من كل ذلك نرى أن تقدم مستوى العلم الحديث بالنسبة للاسمنت ومنتجاته تقدماً
ملبوساً أمر واضح تمام الواضح وذلك بالنسبة للمعلومات التي قفرت قمزات رائعة
عما كانت عليه في سنة ١٩٣٠ حيث كان لكل أنواع الاسمنت مواصفات واحدة ذات
حدود وتحفظات تجمع كل هذه الأنواع .

ونتيجة لما قامت به المؤسسات العالمية من أبحاث تطورت المعلومات عن الاسمنت
ومنتجاته تطورات متعددة ومتوالية فكشفت عن الكثير من غموض هذه المادة وبصفة
خاصة النواحي الكيميائية التي فسرت للكثير من الخواص الطبيعية والميكانيكية لها .
ومن أشهر ما توصل إليه العلم الحديث نتيجة لإبحاث عديدة التحكم في الحرارة
المبكرة الناتجة عن تفاعل الاسمنت مع الماء والوصول إلى التقليل من هذه الحرارة
واكتشاف أنواع جديدة من الاسمنت تتميز بهذه الصفة .

وبلى هذا كشف آخر هو الوصول إلى الاسمنت الذي يقاوم الكبريتات . . وقبل
هذا أو ذاك لن ننسى ما توصل إليه أبرامز (Abrams) في قانونه المشهور عن نسبة
الماء إلى الاسمنت (م / س) الذي أمكن به تحديد خواص الخرسانة الاسمنتية النهائية
وبصفة خاصة إجهادات الضغط .

كما أن دراسة وبمك الأسباب التي عملت على وجود الانهيارات والتصدعات في
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 الأريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية أظهر خطورة استعمال الركام المحتوى على مواد تتفاعل مع الأسمنت البورتلاندى على القلوية وكان التوصل إلى معرفتها خطوة كبيرة فى تقدم تكنولوجيا الأسمنت .

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

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

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

والأسمنت مادة سهلة التداول والتشكيل عند خلطها . وبعد إضافة الركام صغير وكبير تتكون الخرسانة وتكون عجينة الأسمنت المادة اللاحقة لهذا الركام . ويمكن أن تأخذ الخرسانة أى شكل أو حجم يريده المهندسون عن طريق وضعها فى القرم ، المسكونة لهذه الاشكال والأحجام . ومع إضافة أسياخ الحديد إلى هذه الخلطة وتواجد

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

ومع كل ما سبق ذكره من اتساع . . وبالرغم من فوائد الاسمنت واستعمالاته الضخمة العديدة إلا أننا يجب أن نعرف بأن له بعض العيوب التي نحد من استعماله .

فالتشقق الذي يحدث للخلطات الخرسانية الغنية بكية الاسمنت نتيجة لقابلية المادة الاسمنتية للتغير في الحجم يحد من الكثير مما كان يتوقع له من واسع الاستعمال .

كما أن مودة الاسمنت وخرسانته لا تتحمل لإجهادات شد بالإضافة إلى عدم إمكان الوصول حتى الآن إلى الخرسانة التي لها خاصية عدم نفاذ الماء تماماً . ولو أنه أمكن ذلك بصعوبة وبإضافات جديدة وعناية فائقة في معاملتها . كل ذلك يحد من اتساع نطاق استعمال الاسمنت ومشتقاته .

وخرسانة الاسمنت مادة ضعيفة في عزلها للحرارة ولو أن هذا العيب لا يقتصر على هذا النوع من مواد البناء إذ أن جميع ما يشابهها من المواد التي تستطيع أن تحمل حملها مثل الحديد يماثلها في هذه الصفة بل نراه يفوقها في عدم عزله للحرارة ، كذلك من العيوب التي تؤخذ على خرسانة الاسمنت أنها تزحف (creep) تحت الاحمال الثابتة والتي تحد من حرية المصمم في الإنشاءات . ولعل هذا العامل كان سبباً رئيسياً في تأخير الوصول إلى تطبيق نظرية الخرسانة 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 تسير الاضطراب الذي بدأته وقطعت فيه أشواطاً بعيدة .

ثالثا : صناعة الاسمنت :

اتبع في صناعة الاسمنت البورتلاندى طريقتان رئيسيتان هما الطريقة الجافة والطريقة الرطبة .

ففي الطريقة الجافة تكون المواد الكلسية والطينية جافة في جميع مراحل الصناعة أو على الأقل بعد عملية التكسير وقبل الخلط . أما الطريقة الرطبة فتستعمل في 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 في مصر هذه الطريقة .

والنقط التالية توضع في الاعتبار عند اختيار أى من طريقتى صناعة الاسمنت :

١ — نسبة الماء بالخامات :

تصبح الطريقة الرطبة هي المفضلة عندما تكون نسبة الرطوبة في الخامات عالية وفي هذه الحالة يستغنى عن جزء كبير من الماء في احدى مراحل صناعة الاسمنت البورتلاندى .

٢ — مورد المياه :

تستعمل الطريقة الرطبة في حالة وجود المياه بكمية وافرة والتي تتراوح بين ٣٢٪ إلى ٤٠٪ من وزن المجينة قبل دخولها في الافران .

٣ — تكاليف الوقود :

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

٤ — فقد الانزربة :

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

٥ — التجانس :

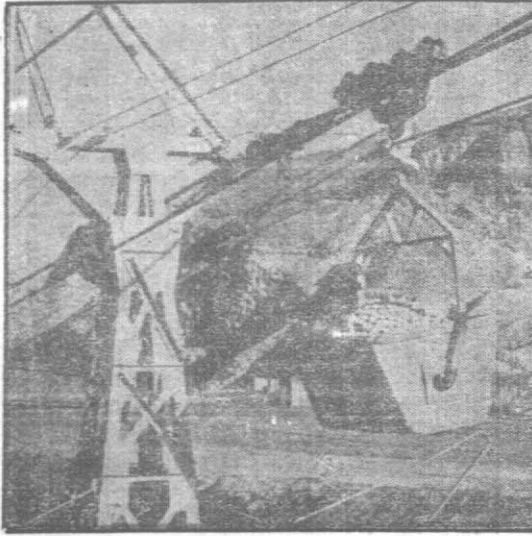
عند استعمال الطريقة الرطبة يمكن الحصول بسهولة على تجانس في المواد الداخلة

للفرن .

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

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

ويمكن تلخيص خطوات صناعة الاسمنت بالطريقة الرطبة فيما يلي :



— تستخرج المواد

الأولية من الحجر

— تنقل إلى المصانع

بطرق حديثة اقتصادية

مثل النقل بالسلك

الهوائي (التلفريك)

كما هو مبين بالشكل

رقم (٢ - ٣)

— تنفتت المواد الأولية

في الكسارات ثم

يطحن وهي مبنلة في

طواحين كرات

(Ball Mills)

— يخلط مطحون المواد الأولية بنسب معينة معلومة لتشكيل عجينة توضع في صهاريج

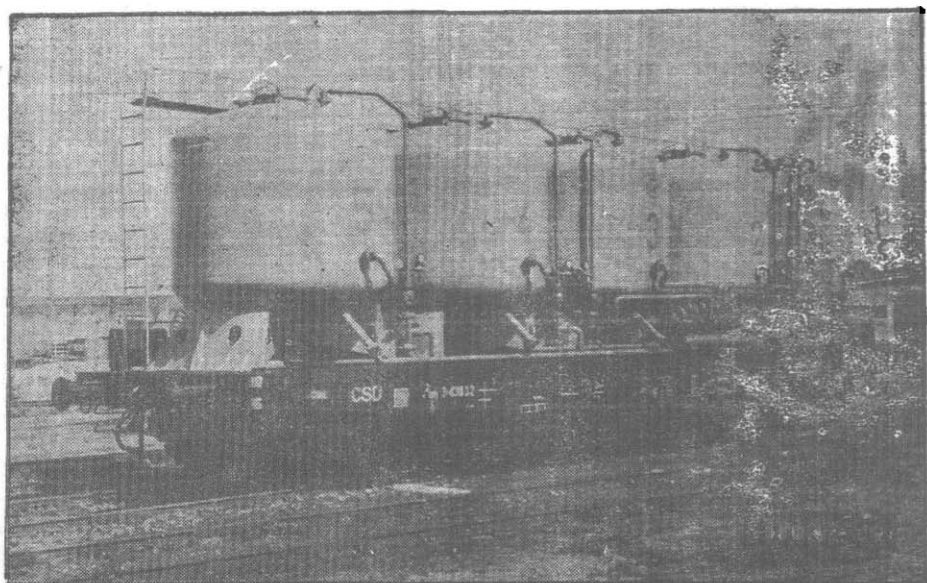
تسمى صهاريج العجينة (Slurry Tanks) . ويتم التأكد من دقة نسب الخلط

المطلوبة عن طريق التحليل الكيميائي .

— تحرق العجينة في الأفران الدوارة فتتحول إلى كتلنكر ثم يطحن ناعما مع نسبة قليلة

من الجبس ليصير أسمتا .

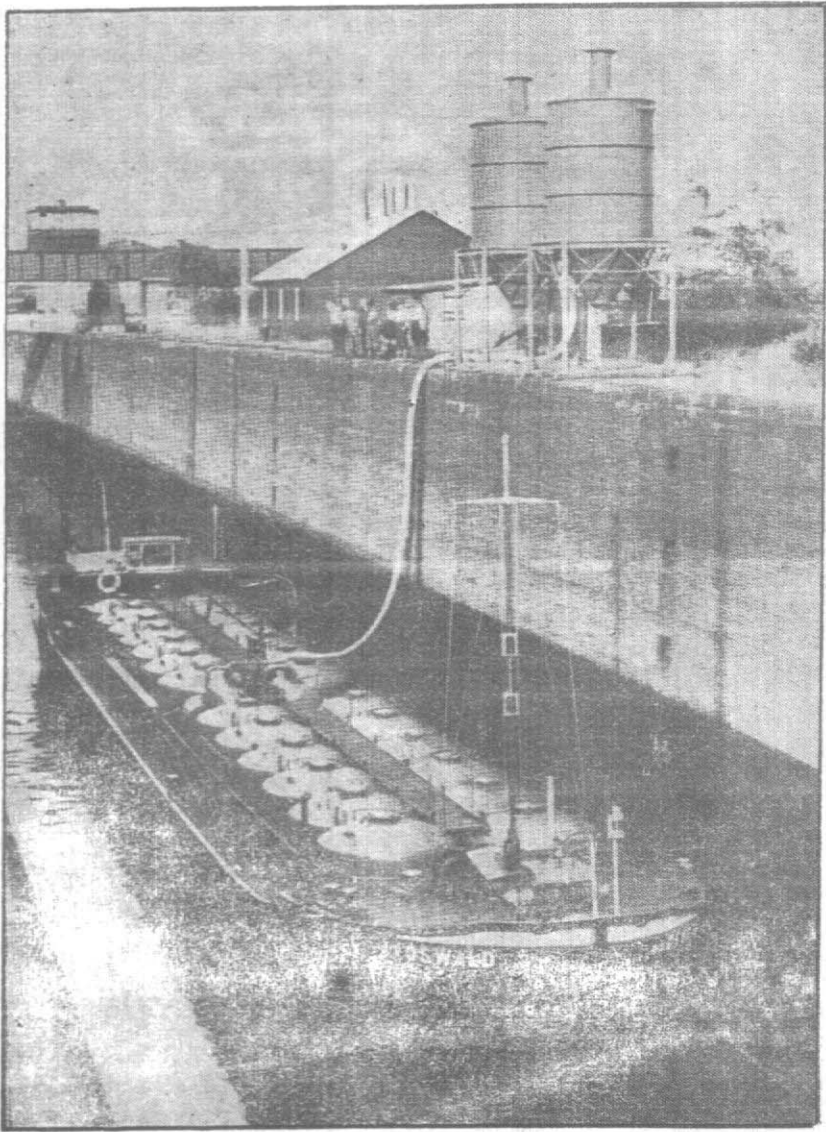
— يعبأ الاسمنت وينقل للاستهلاك المحلي والتصدير الخارجى .



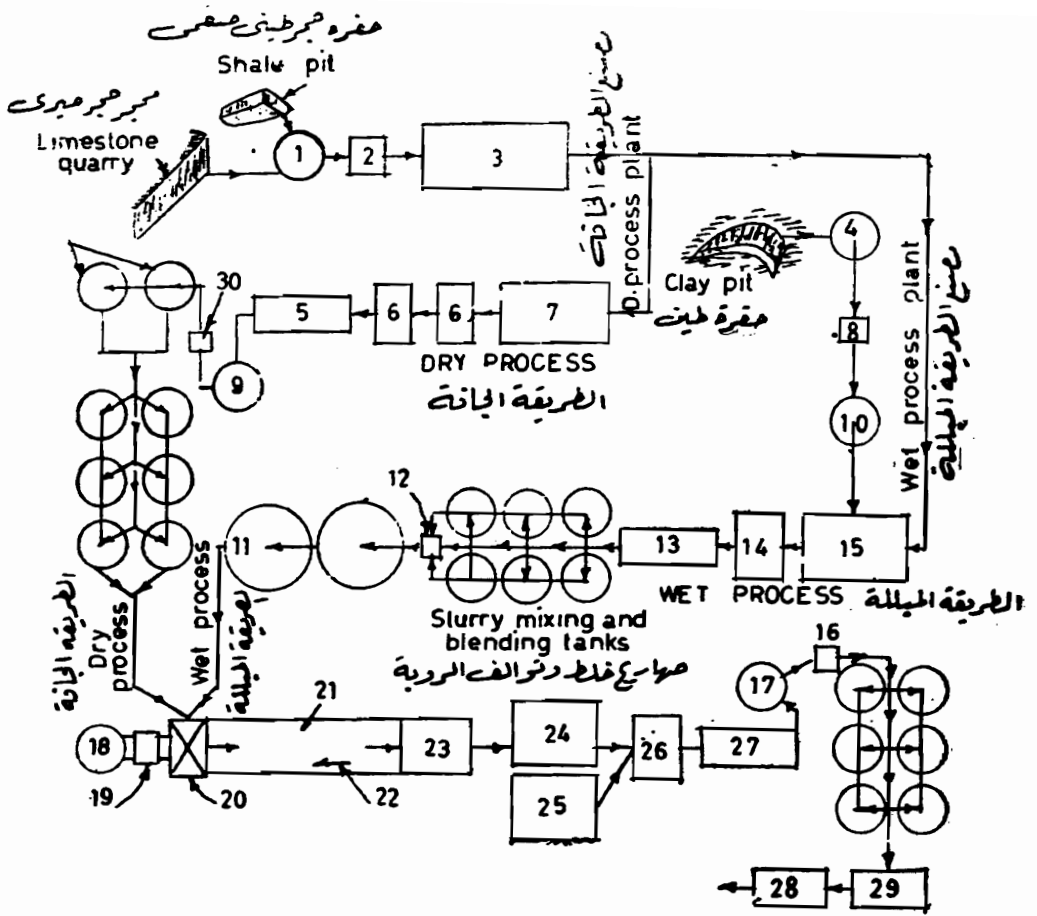
شكل رقم (٢ - ٤) عربة سكة حديد لنقل الأسمنت السائب



شكل رقم (٢ - ٥) سيارة نقل الأسمنت السائب



شكل رقم (٢ - ٦)
مركب نقل الأسمنت السائبة



- | | | | |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| 1. 'Crusher | كساره | 15. Cement pump | ضخمة الاسمنت |
| 2. Hammer mill | طاحونة المطارت | 17. Air separator | فاصل الهواء |
| 3. Raw material storage | مخزن للمادة الخام | 18. Stack | مكدنة |
| 4. Clay wash mill | طاحونة غسل الطين | 19. Dust collector | مجمع الغريبة |
| 5. Tube mill | طاحونة الانبوبية | 20. Kiln feeder | مغذى القمين |
| 6. Grinding mill | طاحونة الطحن | 21. Rotary kiln | القمين الدوار |
| 7. Clay and rock dryer | سيفط الطين والصخر | 22. Flow of hot gases | سار الغازات الساخنة |
| 8. Slurry pump | ضخمة الروبة | 23. Clinker cooler | مبرد الكلنكر |
| 9. Air separator | فاصل الهواء | 24. Clinker storage | مخزن الكلنكر |
| 10. Clay slurry storage basin | حوض تخزين روبة الطين | 25. Gypsum storage | مخزن الجبس |
| 11. Slurry storage basins | أحواض تخزين الروبة | 26. Ball mill | طاحونة الكرة |
| 12. Slurry pump | ضخمة الروبة | 27. Tube mill | طاحونة الانبوبية |
| 13. Tube mill | طاحونة الانبوبية | 28. Shipping | السفن |
| 14. Ball mill | طاحونة الكرة | 29. Packing | التعبئة |
| 15. Proportioning equipment | معدات متناسبة | 30. Pneumatic pump | ضخمة بالهواء المضغوط |

رابعاً : مكونات الاسمنت البورتلاندى العادى وخواصه الكيميائية

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

سليكات ثلاثى الكالسيوم	($2CS$) - $3CaO \cdot SiO_2$	(٤٠ — ٥٠٪)
سليكات ثنائى الكالسيوم	($2CS$) - $2CaO \cdot SiO_2$	(٢٠ — ٣٠٪)
ألومينات ثلاثى الكالسيوم	($3CA$) - $3CaO \cdot Al_2O_3$	(٩ — ١١٪)
ألومينا حديد رباعى الكالسيوم	($4CAF$) - $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$	(٩ — ١١٪)

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

جير غير متحد — ماجنيزيا غير متحدة — كبريتات كالسيوم — قلويات (صودا وبوتاس) — ماء — مواد غير ذائبة . وقد أظهر الفحص الميكروسكوبى الكلنكر 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 يتكون من خليط من بيتا سليكات ثنائى الكالسيوم مع مركب حديد غير معروف . والسيليت وهو مركب معقد يحتوى على باقى الأكسيد 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 الاسمنت فإن زيادة الجير بالنسبة للسليكات والالومينا مع الحديد تزيد قوة الاسمنت . وتتراوح نسبة الأليت فى الاسمنت من ٦٠ إلى ٧٠٪ ويكون السيليت فى حالة سائلة عند درجة الحرارة العليا بالقرن وفى هذا السائل يتكون الأليت ويخرج منه متبلوراً . ويذيب السائل المنصهر كمية من الجير غير المتحد والمغنسيوم غير المتحد . فإذا برد الكلنكر بسرعة بعد مغادرته منطقة الحريق فإن 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 الفجائي مفضل جداً للكلنكر بعد مغادوته منطقة الحريق .

ويبين الآتي مثال تحليل عينة من الاسمنت البورتلاندى :

جير	كا أ	٪. ٦٤,٥٧	سليكا	س أ	٪. ٢١,٨٤
ألومينا	م أ	٪. ٢,٩٥	أكسيد الحديد ح أ	٪. ٢,٩٥	
ماغنيزيا	مج أ	٪. ٠,٩٧	انهدريت الكبريت ك ب أ	٪. ١,٠٩	
ماء وثاني أكسيد الكربون	٪. ٠,٩٨		قلويات وفقد في الوزن	٪. ٠,٢٨	
مخلفات غير ذاتية	٪. ٠,٥٥				

ويحدد معامل تشبع الجير والذي يساوى :

أكسيد الكالسيوم (كا أ) - ٠,٧ ثالث أكسيد الكبريت (ك ب أ)

٢,٨ ثاني أكسيد السليكون (س أ) + ١,٢ ثالث أكسيد الألومنيوم (لو أ) + ٠,٦٥
أكسيد الحديد (ح أ)

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 فبسبب الكلنكر مبكراً أثناء القسخين مما يمنع الطين والألومينا (التي تحتاج لدرجة حرارة عالية للانصهار) من تمام التفاعل والاتحاد .

وإذا نظرنا إلى مكونات الاسمنت كل على حدة فإننا نجد ما يأتي :

الجير : يكون تقريباً ثلثي الاسمنت ولسبته تؤثر إلى حد كبير في خواصه وزيادة الجير عن الوزن المفروض تسبب في عدم ثبات الاسمنت . وكمية الجير التي تتحدد نظرياً بالعناصر الحمضية تحددها المعادلة التالية :

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

السليكا : تكون حوالى الخمس ، الألومينا ١/٣ من الاسمنت . وزيادة نسبة السليكا مع انخفاض نسبة الألومينا يعطينا أسمنتاً بطيء الشك طالى المقاومة . ويساعد في مقاومته لأي تأثيرات كيميائية . ولكن إذا زادت نسبة الألومينا وقلت نسبة السليكا فإن الاسمنت يصبح سريع الشك طالى المقاومة .

النسبة المئوية للسليكا

ومعامل السليكا = النسبة المئوية للالومينا ÷ النسبة المئوية لأكسيد الحديد

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

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

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

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

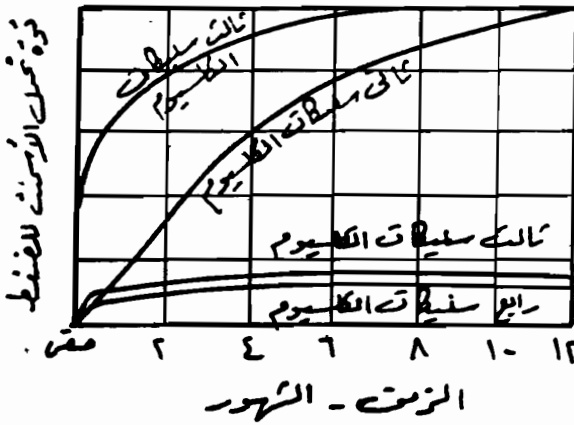
المواد غير الذائبة : يجب ألا تزيد عن ١٪ وهى دائماً تكون السليكات الحاملة. القلويات : وهى غالباً تطير مع الغازات المتصاعدة فى عملية الحرق، وتوجد بكميات قليلة فى الأسمنت ويجب ألا تزيد القلويات وإلا كانت تفاعلاتها مع الإضافات الأخرى سبباً فى خطر الانهيار بفعل التفاعل القلوى للركام فى الخرسانة.

التفقد بالحرق : 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 تتماياً بسرعة وتسبب فى وجود كمية كبيرة من الحرارة عند التفاعل.

$$3 \text{ Ca O} \cdot \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{ Ca O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{X H}_2\text{O} + \text{Ca (OH)}_2$$
 وينفصل جزيء من أكسيد الكالسيوم وتكون هيدروكسيد كالسيوم متبلورة، و ($3 \text{ Ca O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{XH}_2\text{O}$) سليكات الكالسيوم وهذا المركب جيلاتينى، وله فضل

المقاومة المبكرة للأسمنت ، وتساعد الحرارة . وسليكات ثلاثي الكالسيوم له خاصية
أسمنتية جيدة ، وله تأثير في مقاومة الخرسانة خصوصاً في الأربعة عشر يوماً الأولى كفاً



شكل رقم (٢-٩)

قوة الضغط لمكونات الأسمنت

شكل رقم (٢-٩) .

سليكات ثنائي

الكالسيوم يتفاعل مع

الماء يبطء وتساعد

الحرارة يبطء . وهو

المستول عن ازدياد المقاومة

فيما بين ١٤ - ٢٨ يوماً

وفيما بعد . والأسمنت

المحتوى على كيات عالية

من سليكات ثنائي

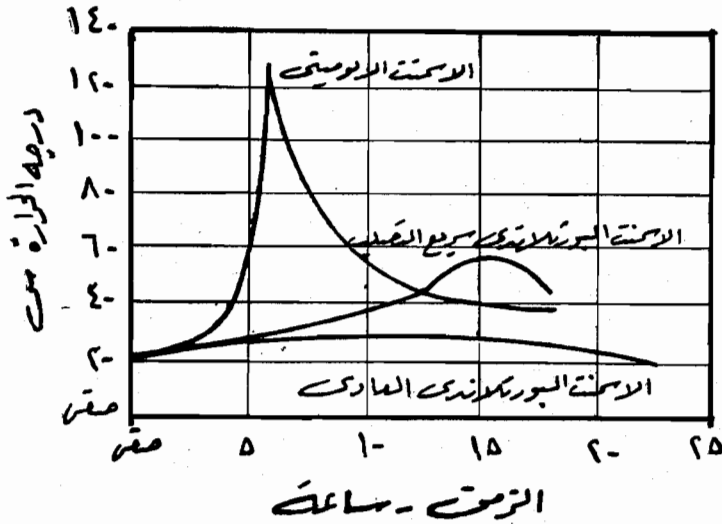
الكالسيوم له مقاومة كبيرة للذرات الكيميائية والانكماش بالجفاف ولذلك فهو من
أهم عوامل ثبات الأسمنت .

أومينات ثلاثي الكالسيوم : يتباً بسرعة مع الماء خصوصاً في اليوم الأول
ويصحب التفاعل تصاعد حرارة عالية ، ويشك المزيج على القور وأومينات ثلاثي
الكالسيوم هو الذي يسبب التصلد الأول . ولكنه لا يتدخل كثيراً في القوة ومقاومة
هذه في التأثيرات الكيميائية وعلى الأخص الكبريتات المذابة في الماء الأرضي . ويسبب
التشققات للتغير في الحجم ، وخاصيته الأسمنتية ضعيفة .

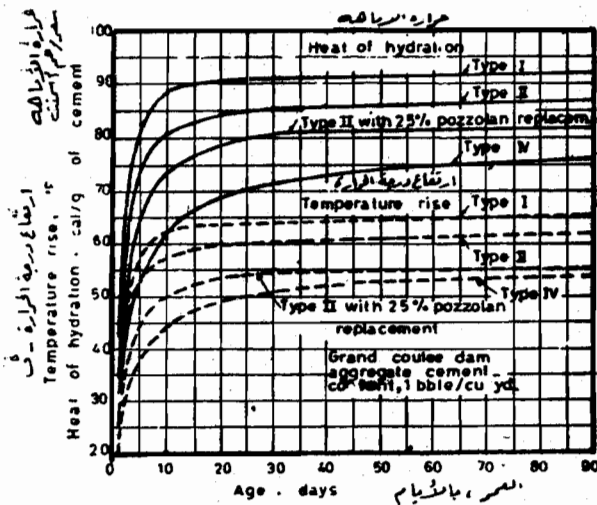
أومينات حديد رباعي الكالسيوم : يتباً يبطء ، وليس له خاصية أسمنتية
أو تأثير على المقاومة أو أي خواص للأسمنت المتصلد .

حرارة الإماهة : (Heat of Hydration) .

التفاعلات الكيميائية التي تحدث عندما يشك الأسمنت ويتصلد يصحبها دائماً ارتفاع
في درجة الحرارة ففي الأسمنت البورتلاندي العادي يحدث ارتفاع في الحرارة يبلغ
١٠°م . وفي الأسمنت سريع التصلد يبلغ لارتفاع درجة الحرارة حوالي ٤٠°م
وفي الأسمنت الألوميني يكون الارتفاع في درجة الحرارة حوالي ١٠٠°م كما يتبين من
الشكل رقم (٢-١٠) .



شكل رقم (٢-١) حرارة الإمالة لأنواع من الأسمنت



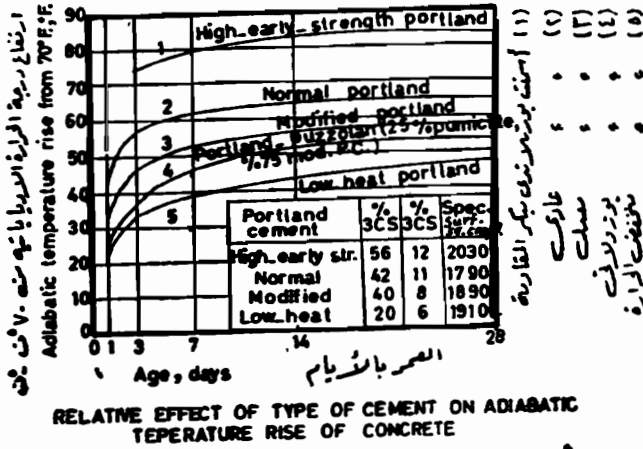
PORTLAND POZZOLAN CEMENT GENERATES LESS HEAT THAN TYPE I OR II PORTLAND CEMENT AND AT SLOWER RATES, WHICH ARE MORE FAVORABLE TO HEAT REMOVAL BY ARTIFICIAL COOLING

الأسمنت البورتلاندي المقاوم يولد حرارة أقل من الأسمنت البورتلاندي العادي أو II ويملك أقل وهذا يفضل بسرعة أكثر من إزالة الحرارة بالتبريد الصناعي

ويحدث دائماً ارتفاع درجات الحرارة عند الشك في الساعات الأولى ويبلغ ارتفاع حرارة الإمالة للأسمنت البورتلاندي العادي ٧٠ سعر الكل جرام في ٧ أيام ويصل إلى ٨٠ سعراً في ٢٨ يوماً ، شكل رقم (٢-١)، (٢-١١) ويجب الاحتياط عند العمل في المنشآت الكتلية بالألا يستعمل الاسمنت

شكل رقم (٢-١١)

بكيات كبيرة كما في السدود والخزانات لأن ارتفاع درجة الحرارة داخل هذه الكتل الضخمة وما يصحبها من برودة على السطوح الخارجة ربما يسبب تشققات ولهذا يفضل استعمال الاسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة . وبين الشكل رقم (٢ - ١٣) الارتفاع في درجة حرارة الإماهة مع الزمن لأحد السدود باستخدام الاسمنت البورتلاندى العادى والاسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة .



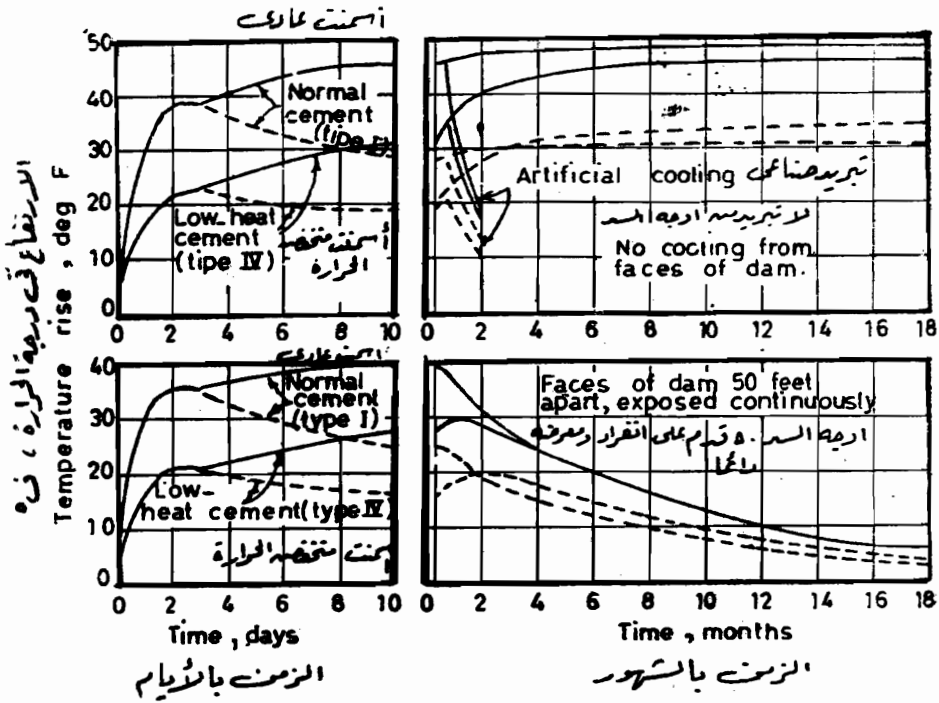
التأثير النسبي لنوع الاسمنت على ارتفاع درجة الحرارة الأدياباتية للخرسانة

شكل رقم (٢ - 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 ومقياساً يعتمد عليه كلية في قبول هذا الاسمنت للاستعمال في أشكاله وصوره المتعددة . كما يعتمد على هذه الأسس في تطور الاسمنت حتى يبنى باحتياجات وظروف الاعمال الإنشائية المختلفة التى يدخل فيها الاسمنت كمصدر هام في موادها .

وبنى التقسيم للمنطقى لخواص الاسمنت البورتلاندى على طرق الاختبار على أن نأخذ في الاعتبار الحالة التى يكون عليها الاسمنت أثناء إجراء عملية الاختبار .



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

وعلى سبيل المثال نجد ان هناك خواص محددة لمسحوق الاسمنت الجاف وخواص أخرى لصيغة الاسمنت (أى مخلوط الاسمنت والماء) . وتوجد أيضا خواص لمونة الاسمنت (أى المخلوط المكون من الاسمنت والماء والرمل) . أما الصورة الأخرى لخواص الاسمنت فعندما يخلط الاسمنت والماء والرمل والوط فيا يعرف باسم الخرسانة . وسنتناول بالدراسة حالات مسحوق الاسمنت الجاف وصيغة الاسمنت ومونة الاسمنت أما خواص الاسمنت في الخرسانة فسناقشه في غير هذا المكان .

(١) خواص مبنية على اختبار مسحوق الاسمنت :

١ - نعومة الاسمنت :

— بطريقة المنخل رقم ٢٠٠

— بطريقة المنخل رقم ١٧٠

— بطريقة المساحة النوعية لسطح باستعمال جهاز فاجنر أو أى جهاز آخر مثل

جهاز بلين .

٢ - الوزن النوعي .

٣ - الوزن الحجمي .

(ب) خواص مبنية على اختبار عجينة الاسمنت :

١ - إيجاد نسبة الماء لتشكيل العجينة ذات القوام القياسي .

٢ - زمن الشك الابتدائي والنهائي بواسطة جهاز فيكات (Vicat) .

٣ - الثبات بواسطة جهاز لوشاتليه (Le chatelier) .

(ج) خواص مبنية على اختبار مونة الاسمنت :

١ - إجهاد الضغط لمونة الاسمنت باختبار مكعبات منطوح كل منها ٥٠ سم^٣

٢ - إجهاد الشد لطريبات من مونة الاسمنت .

٣ - زمن الشك لمونة الاسمنت .

٤ - محتوى الهواء في مونة الاسمنت .

٥ - لضع مونة الاسمنت .

وبالإضافة إلى هذه الخواص والتي تخضع لطرق اختبارات قياسية نجد خواص أخرى لم تشملها هذه المواصفات ولكن هناك اتفاق عام بين المتخصصين في هذا الفرع على وجوب تحديد هذا الخواص وبطرقهم الخاصة . مثال ذلك ، مقاومة مونة الاسمنت للكبريت ومقاومتها لتوالي الارتفاع والانخفاض في درجات الحرارة وتأثير قاطية الركام القلوي على مونة الاسمنت .

وفيما يلي النقاط الرئيسية لخواص الاسمنت البورتلاندى العادى وهى :

(١) لعومة الاسمنت . (ب) للكثافة النوعية للاسمنت . (ج) الشك والتصلد

في الاسمنت البورتلاندى . (د) مقاومة الاسمنت . (هـ) ثبات حجم الاسمنت .

(١) لعومة الاسمنت :

يعد مقياس حبيبات الاسمنت عاملاً هاماً يؤثر على مدى تفاعل الاسمنت مع

الماء وذلك لأن مجموع مساحة السطوح لوزن معين من عينة من الاسمنت ذات درجة

لعومة معينة تكون أكبر من مجموع مساحة السطوح لنفس الوزن من هذا الاسمنت

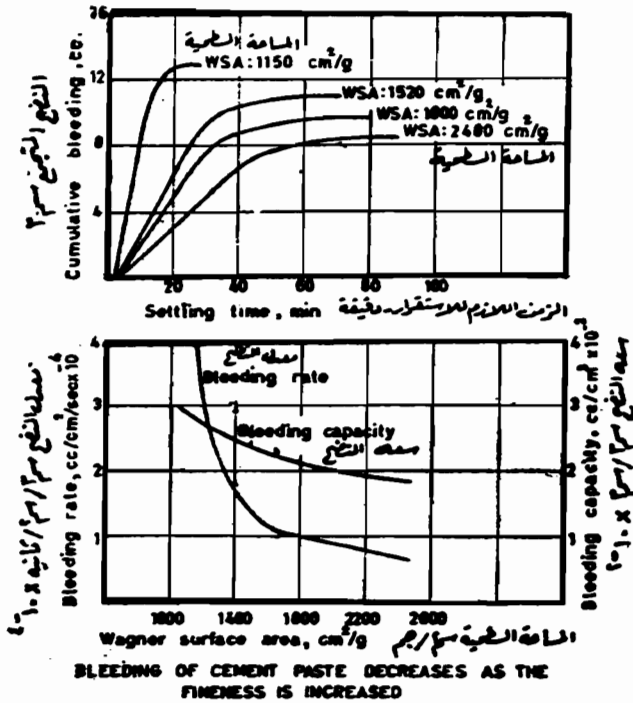
ذى درجة نعومة أقل . وعلى ذلك فمدل تفاعل الماء مع عينة الاسمنت الناعمة يكون

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

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

والاتجاه الحديث فى السنين القليلة الماضية فى إنتاج الأسمنت هو طحن الأسمنت 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 .

ولنعومة الأسمنت تؤثر على ثبات حجمه وذلك لأن تمدد بعض العناصر الموجودة فى الحبيبات الكبيرة لن تكون تحت تأثير التغيرات الجوية التى تعمل على تكلمة 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 إلتقاص كمية الماء التى تنفصل على سطح الخلطة والتى تعرف باسم النزح (Bleeding) فتقلل نعومة الأسمنت من هذه الظاهرة كما يتضح من الشكل رقم (٢ - ١٤ ، ب) . وقد نصت المواصفات الخاصة بالأسمنت البورتلاندى للمادى لعدة سنوات مضت لقياس درجة نعومة الأسمنت بتحديد نسبة المتبقى من حبيبات الأسمنت فوق منخل رقم ١٧٠ بالألترزيد عن ١٠٪ (المواصفات القياسية المصرية والبريطانية)



BLEEDING OF CEMENT PASTE DECREASES AS THE FINENESS IS INCREASED

يقل نضج عجينة الأسمنت بزيادة النعومة

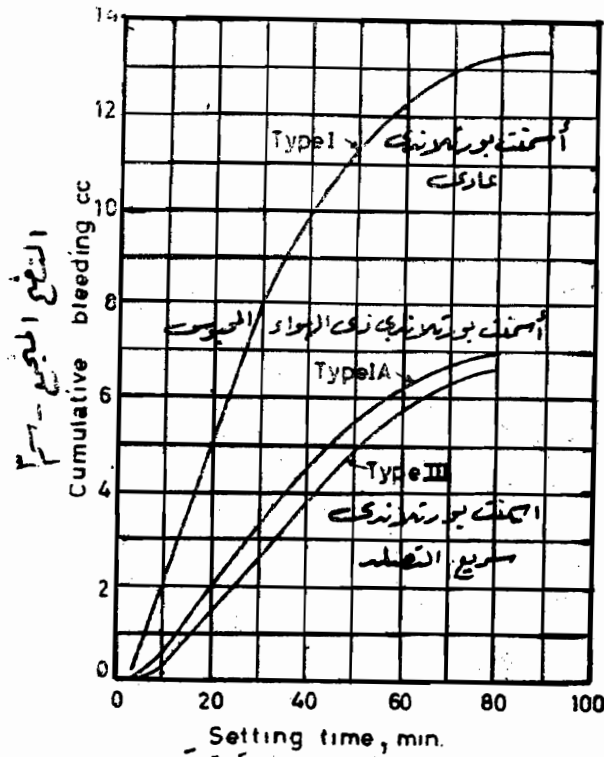
شكل رقم (٢ - ١٤ - ١)

أو أقل، وبالنسبة للتبق
على منخل رقم ٢٠٠
لا تتعدى نسبة ٢٢٪
(مواصفات الجمعية
الأمريكية للاختبار
والمواد (A. S. T. M.
وحيث أن النسب الصغيرة
للتبقية فوق هذه المناخل
ليس لها ارتباط كبير
بالتوزيع الحجمي لجسيمات
الاسمنت الناعمة فقد
أُلفت هذه الطريقة
التقليدية لتحديد درجة
نعومة الاسمنت
البورتلاندى العادى
ولكنها تستعمل كطريقة

لتحديد درجة النعومة باستخدام المناخل في بعض أنواع الاسمات الأخرى .

وفي السنين الحديثة ومع تقدم طرق الاختبار فقد أصبح من المعتاد معرفة درجة
النعومة في الاسمنت بواسطة المساحة النوعية للسطح وذلك بحساب مجموع السطوح
الجسيمات بالسنتيمتر المربع لجرام الاسمنت . وكما زادت درجة نعومة الاسمنت
زادت نسبة المساحة النوعية للسطح وبالرغم من أن المساحة النوعية للسطح المحسوبة
تعتبر تقريبية بالنسبة لمساحة السطح الحقيقي فإنه قد ظهرت كفاءة استخدام هذه
الطريقة لقياس درجة النعومة . وقد أمكن الحصول على علاقة ظاهرة بين المساحة
النوعية للسطح وخواص الاسمنت فوجد أن هذه الخواص تتأثر إلى حد كبير بنعومة
جسيمات الاسمنت .

وقد أوجدت الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد طريقة اختبار درجة نعومه



BLEEDING RATE OF VARIOUS TYPES OF CEMENT

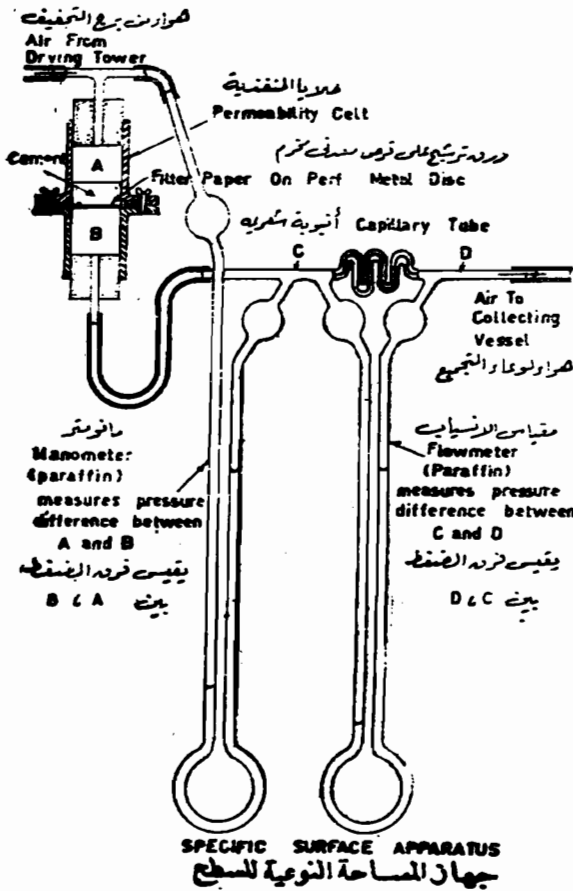
معدل الشفط لأنواع مختلفة من الأسمنت

شكل رقم (٢ - ١٤ «ب»)

وعندما يأخذ الأسمنت في الهبوط تتزايد كمية الأشعة المارة خلال المخروط وتسجل هذه الزيادة في شدة الضوء وهذه القراءة المشار إليها مقياس لدرجة تكمحل الكيوسين بالأسمنت المعلق فيه وهي بدورها مقياس للمساحة السطحية لهذا الأسمنت المعلق .

وقد استحدثت طريقة أخرى في 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 .

الأسمنت البورتلاندي
العادي بطريقة فاجنر
(Wagner Turbidimeter)
والتي تكون أساساً من
مصدر الضوء ذي شدة
ثابتة تضبط للحصول على
أشعة متوازنة تقريباً تمر
في كمية الأسمنت المراد
قياسه عالقة في كيوسين
بحيث تنفذ هذه الأشعة
إلى اللوح الحساس الخاص
بجهاز التصوير الكهربائي
ثم يقاس التيار الكهربائي
الناتج من البطارية وعند
اختبار الأسمنت نوضع
العينة في « الكيوسين »
ونفذ الضوء خلال
المخلوط مؤثراً على جهاز
التصوير الكهربائي



وقد اتخذ عدد وحجم
القراءات الموجودة في
هذه الطبقة ذات القراءات
المحددة كدالة على حجم
الحبيبات وتعيين معدل
مرور الهواء خلال هذه
الطبقة من الاسمنت .
ويقاس مدى التسايب
(Flow) الهواء خلال
طبقة الاسمنت بمقياس
الالتسايب بتعيين فرق
الضغط (ع_١) بين
الانبوبتين D, C ويقاس
أيضا فرق الضغط
(pressure) (ع_٢) بين
الانبوبتين B, A
بواسطة المانومتر المبين
بالشكل رقم (٢-١٥)
ثم تحسب المساحة

شكل رقم (٢-١٥)
جهاز لولوا لتعيين المساحة النوعية للمسح للأسمنت

السطحية النوعية بالسنتيمتر المربع للجرام من المادة :

$$S = \frac{V}{C} \sqrt{\frac{P_1}{P_2}}$$

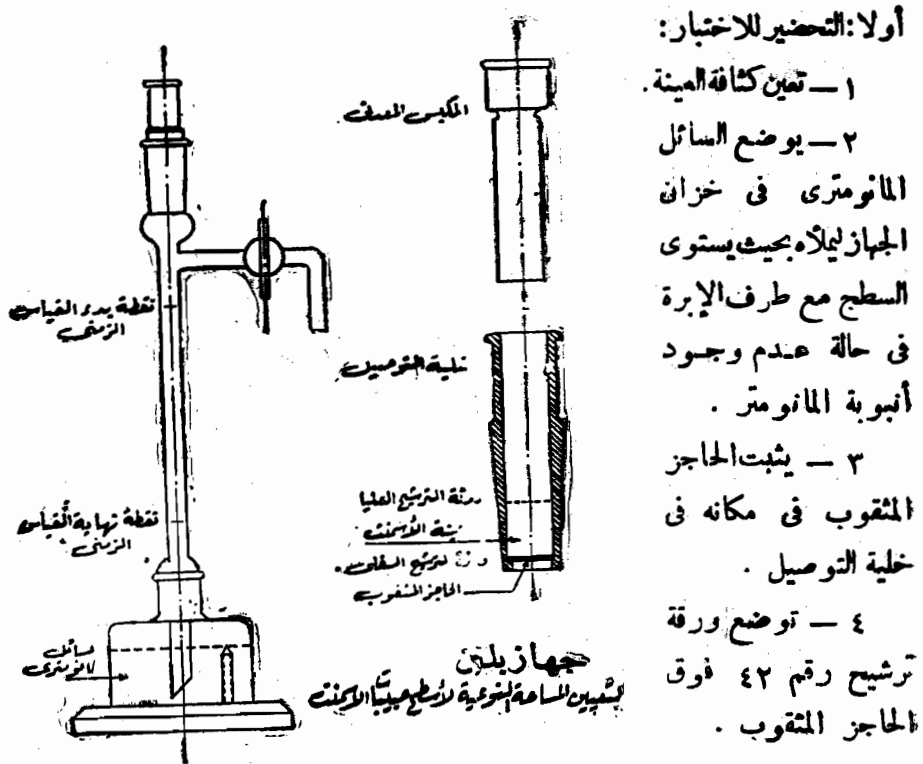
حيث :

S عدد ثابت للجهاز .

وتعتبر هذه الطريقة أبسط وأسهل من طريقة فاجر ، وتختلف النتائج التي يحصل عليها بكل من الطريقتين ولذلك تحدد طريقة الاختبار إلى جوار الرقم المحدد في المواصفات .

وبالرغم من أن النسبة المثوية للوادر المارة من منخل رقم ١٧٠ أو منخل رقم ٢٠٠ لا تؤخذ كدليل للمساحة النوعية للسطح لاسمنت 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 الاسمنت لحساب نعومة الاسمنت بدلالة السطح النوعي بالسنتيمتر المربع في جرام واحد من الاسمنت . كما يتضح من الخطوات التالية :



شكل رقم (٢ - ١٦)

٥ - يوزن مقدار ٢,٧ جم من الاسمنت على ميزان حساس وتفرغ العينة بحذر داخل خلية التوصيل بمساعدة القمع الخاص بذلك مع الحرص لكي لا يتشتت أى جزء

من العينة على الجواب .

- ٦ — يغطى الاسمنت بورقة ترشيح أخرى .
- ٧ — يضغط الاسمنت بالمكبس الخاص داخل الخلية ثم ينزع المكبس .
- ٨ — يراعى ألا يقتشت أى جزء من العينة فوق ورقة الترشيح الطوية 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 — يمين الوقت الذى يستغرقه المحلول المانومترى للهبوط من العلامة العليا إلى العلامة السفلى .
- ٣ — تعين الحرارة إلى أقرب ٠,١ م° .
- ٤ — تجرى التحينات المذكورة مرتين ويحسب المتوسط .
- ٥ — يعاد الاختبار بأ كلة على سبيل التكرار للحصول على أدق النتائج .

ثالثاً : طريقة الحساب :

- ١ — من المنحنى البياني الاول يحدد الثابت (ث) المقابل لكثافة الاسمنت كما فى شكل رقم (٢ - ١٧) .
- ٢ — من المنحنى البياني 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 الزمن (ق) المعين بالاختبار .
- ٥ — تستنبط المساحة النوعية للسطح (ن) من العلاقة :

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

رابعاً : الاحتياطات :

للحصول على نتائج سليمة لا بد من مراعاة ما يلى :

- ١ — النظافة التامة لخلية التوصيل وأنبوبة المانومتر والسائل المانومتري .
 ٢ — الدقة الكاملة الميزان الحساس وساعة الشوائب وتفصيل الحساب .
 ٣ — العناية الفائقة في ضبط مستوى سطح السائل المانومتري والوضع السليم لخلية التوصيل .

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

خامساً : مثال عددي :

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 = ٣٢,٢ ث

= ٣٢,٢ ث

= ٣٢,٢ ث

= ٣٢,٤ ث

= ٣٢,٢ ث

= ٣٢,٢٤ المتوسط

المساحة النوعية للمسح (ن) = ث × ر × ج × √

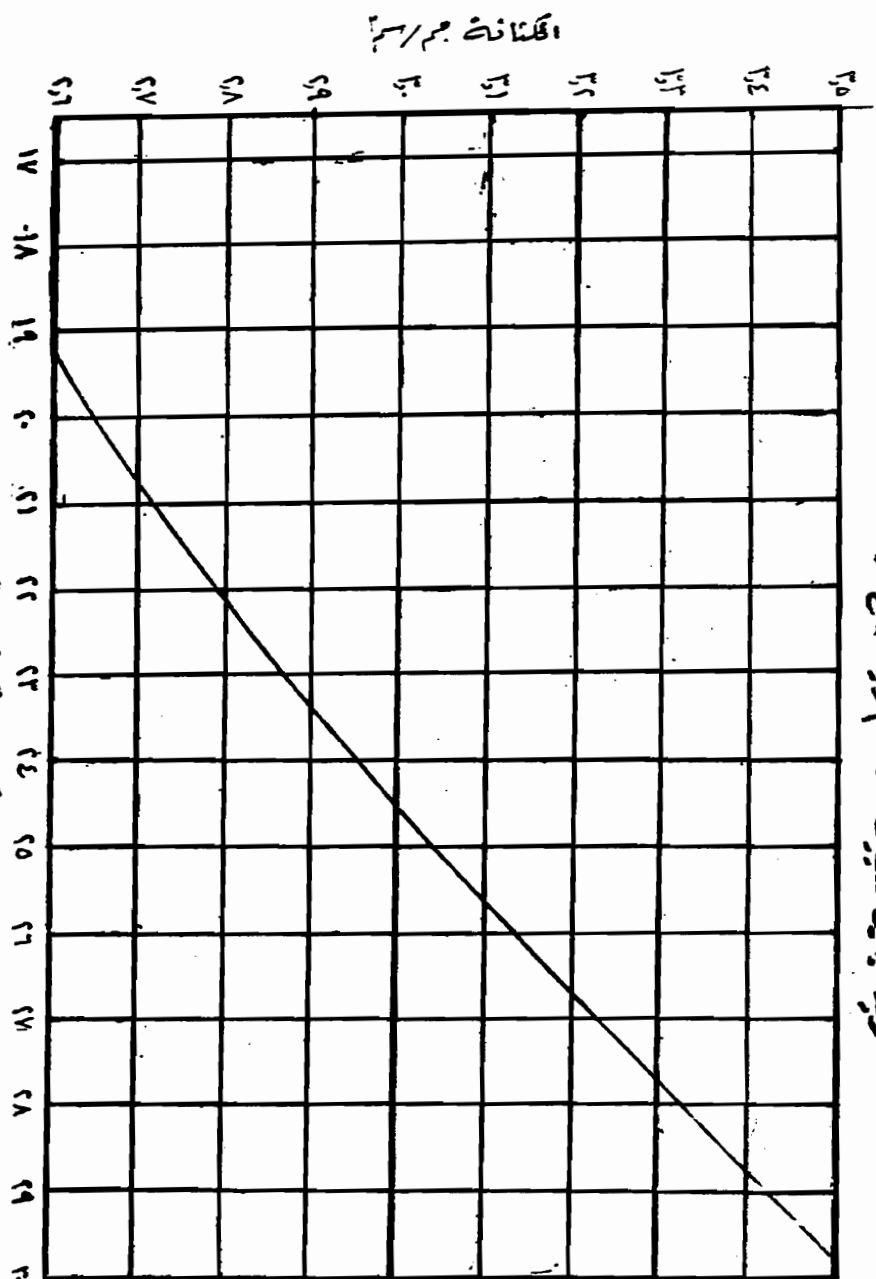
= ٣٢,٢٤ × ٧ × ٠,٢٥٥٠ × ٦٨,٧ × ٢٦,٢

= ٢٦٠٠ سم^٢ / جم

المسامية (س) = ٠,٥٣١ (من المنحنى البياني الثالث) شكل رقم

(٢ - ١٩)

طريقة بلين لتعبئة الاسطوانية للربح المربحة

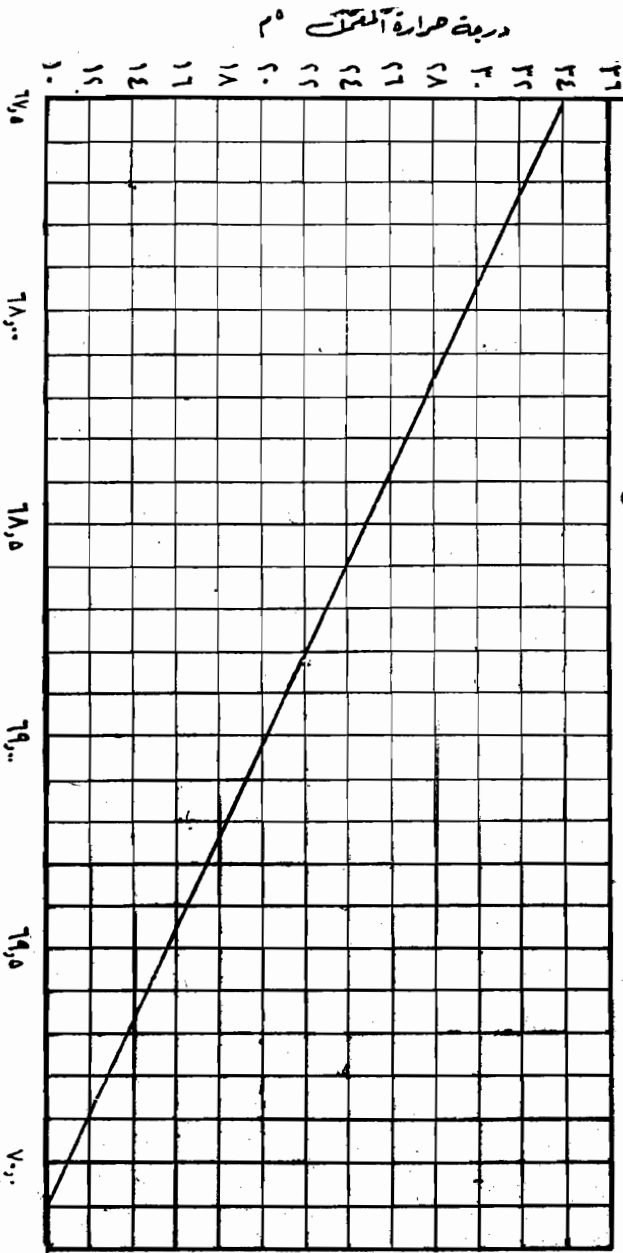


طريقة الاكتشاف "دب"

شكل رقم (٧-١٧) النسخ الثاني الأول لتحديد التثبيت "د"

المنحنى البياني الشعاعى

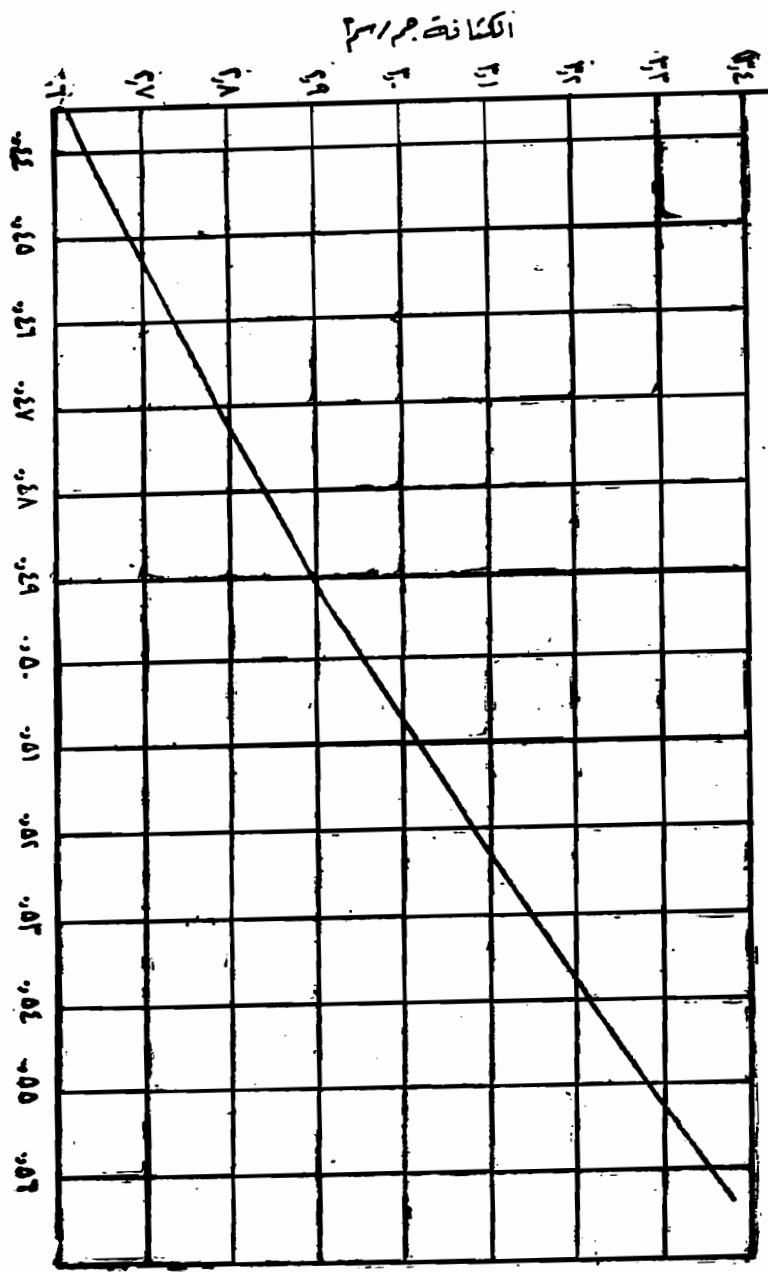
طريقة بلانت لتعيين المساحة النورية لسطح الاسمنت



شكل رقم (٢ - ١٨) المنحنى البياني لتعيين القائت « بي »

مكمل رقم (١٩ - ٢) المنحني الثاني الثالث لتعيين المسامية و س

المنحني المبني في الثالث
طريقة بلين لتعيين المسامية النظرية لأعلى الأرصفة



سادساً : ملاحظات .

تعيين الكثافة بالطريقة العادية ، بأن توزن عينة من الاسمنت بقنينة كثافة معروفة الوزن وتملأ القنينة إلى نصف سعتها بالكبروسين (النقي المجفف المعاد تقطيره لحصيلة ٢٠٠ - ٢٤٠ م) وتجري الخلطة بجهاز تفريغ لمدة نصف ساعة ثم تملأ القنينة بالكبروسين في ترموستات لتوزن بعد ثبات الحرارة . ويجرى حساب الكثافة إلى أقرب ٠,٠٢ جم/سم^٣.

جدول رقم (٢ - ٤)

المساحة النوعية للسطح المقابلة للنسب المارة من منخل رقم ٢٠٠

المساحة النوعية للسطح سم ^٢ / جم		الحدود التقريبية للنسبة المتوية المارة من منخل رقم ٢٠٠ (بالوزن)
طريقة بلين	طريقة فاجنر	
٢٥٠٠	١٢٥٠	٨٣ - ٧٦
٣٠٠٠	١٥٠٠	٩٠ - ٨٢
٣٣٠٠	١٧٥٠	٩٣ - ٨٧
٣٦٠٠	٢٠٠٠	٩٦ - ٩٢
٣٨٠٠	٢٢٥٠	٩٨ - ٩٥
٤٠٠٠	٢٥٠٠	٩٩ - ٩٦

والمساحة النوعية للسطح لأنواع الاسمنت البورتلاندى التجارى التى تفتج فى الوقت الحاضر تتراوح تقريبا بين ٢٨٠٠ إلى ٢٤٠٠ سم^٢ / جم (بجهاز بلين) أما بالنسبة للاسمنت السريع التصلد فتصل هذه الحدود بين ٣٥٠٠ إلى ٤٢٠٠ سم^٢ / جم .
وتتوقف نعومة الاسمنت أساساً على مجموعة من العوامل تتوقف على طريقة الصناعة فالمكونات الكيميائية ودرجة الاحتراق تؤثر على صلادة الكلنكر وبالتالي على النعومة التى يطحن إليها الاسمنت يضاف إلى ذلك أن النعومة تتأثر بزمان الطحن ونوع الطواحين المستعملة فى العملية .

ويؤثر تخزين الاسمنت لحد ما على درجة نعومته . وهناك رأى على يقين عن احتمال احتفاظ الاسمنت بدرجة نعومته بمضى الوقت بشرط عدم امتصاصه أية كمية من البخار . وقد تزيد درجة النعومة قليلا ويعل أصحاب هذا 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 فتخفها 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 فتخفها 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 ١,٠٠ . عن الأنواع المحتوية على نسبة أقل من هذه الأكاسيد . وزيادة على ذلك فإن الاسمنتات ذات الحبيبات الناعمة تقل الكثافة النوعية فيها عن الاسمنتات ذات الحبيبات الكبيرة مع إختراكها 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 .

(ج) الشك والتصلد فى الاسمنت البورتلاندى العادى :

عند خلط الاسمنت البورتلاندى العادى بالماء ليكون عجينة رقيقة فإن هذه العجينة تقل لدونتها تدريجياً بمضى الوقت حتى تصل إلى درجة التصلد . وعندما تفقد العجينة قوتها وتصبح متماسكة تماماً بحيث تستطيع أن تتحمل ضغطاً معين ملحوظاً 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 الاخيرة أى الحصول على المقاومة يعرف بأن العجينة قد وصلت إلى دور التصلد . ويجب ألا يكون شك الاسمنت سريعاً أو بطيئاً إذ أنه في حالة الشك السريع لن يكون هناك وقت كاف لنقل الخرسانة إلى موقع الصب قبل فقد لدونتها ، وفي الحالة الثانية يحتاج الشك إلى وقت طويل مما يعمل على تعطيل العمل وبالإضافة إلى ذلك فقد يؤخر ذلك من الانتفاع بالمنشأ وذلك لتأخر الحصول على المقاومة المناسبة في الوقت المطلوب .

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

بعد أن تبدأ كمية المياه اللازمة لعملية الخلط في مباشرة التفاعل مع المواد الموجودة على سطح حبيبات الاسمنت يتكون معلق جيلائينى وبالتدرج يزداد في الحجم وفي القوام في جميع أنحاء الخليط وتأخذ عملية الاماهة (التفاعل مع الماء) مكانها وتتكون بعدئذ بعض البلورات لتفاعل الجبس مع الالومينا ومن الممكن أن يعزى الشك الابتدائى عندما تتكون بعض هذه البلورات بين حبيبات الاسمنت الفردية فبسبب سرعة التصلد التى يمكن ملاحظتها في عجينة الاسمنت التى تحتوى على نسبة الماء المكونة للقوام القياسى وبالنسبة للشك النهاى فيبدو عدم تميزه ببعض الظواهر الطبيعية فيما عدا ما نلاحظ من تحمل المادة للضغط .

وبينما تتقدم عملية الاماهة مع حبيبات الاسمنت فانه تتكون بعض الجيلاتينا ويغلظ قوام الجيلاتينا المكونة سابقا وتتصلد حاصلة على هيكلها البلورى . وقد تتكون بعض بلورات حرة في العجينة ولكن المعروف حالياً أن التبلور لا يلعب دوراً مهماً في عملية التصلد الأولى .

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

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

والعوامل المؤثرة على خواص الشك في الاسمنت هي :

مكوناته والنسبة المثوية للمادة المضادة لتبطين عملية الشك ودرجة التكلس ودرجة نعومة الطحن وعملية التثوية المصاحبة لعملية الطحن والنسبة المثوية للماء المضاف لتكوين العجينة ودرجة الحرارة للماء والاسمنت عند الخلط ونسبة الرطوبة ودرجة الحرارة البخار للوجود فيه الخلط أو الجو المحيط للعجينة وكية الإعداد البدوي التي حضرت فيها العجينة . وعموماً فكلما زادت درجة الحرارة كلما أسرع عملية الشك وأن نسبة الماء المثوية المستعمل في 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 القياسي عند اختبار زمن الشك

وإذا استعمل الاسمنت الناتج مباشرة من طحن الكلنكر فإن زمن الشك يحدث سريعاً ولذلك تضاف نسبة من ٢٪ إلى ٦٪ من الجبس الحام أو التام التكليس بحيث تكون الإضافة إلى الكلنكر قبل عملية الطحن فتعمل هذه الإضافة كاملاً لتبطين عملية الشك .

وتشك الاسمنتات المعرضة لجو مشبع ببخار الماء أبطأ منها لو كانت معرضة لجو جاف وزيادة زمن الخلط وتطويل عملية تسوية سطح المونة كل ذلك يبطئ من عملية الشك .

ويتأثر زمن الشك في الاسمنت بالمكونات الكيميائية إلى حد ما ولكن نعومة الاسمنت وكية الماء الداخلى في تكوين العجينة ودرجة الحرارة المحيطة بها العجينة هي المؤثرات التي تؤثر بوضوح على عملية الشك .

وفي الحدود المقررة للنعومة في الاسمنت فإنه كلما زادت نعومة الاسمنت كلما أسرع زمن الشك وذلك بسبب النشاط الكيميائي الفعال . وهناك بعض الحالات في الاسمنتات تميل إلى ما يعرف باتصافها بالشك الخاطف (Flash Setting) .

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

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

ويمكن الحصول على قياس لزمن الشك في الأسمنت بعمل عجينة ذات اقوام قياسى بمقاييس وظروف معينة واستخدام جهاز فيكات (Vicat) المبين بالشكل رقم (٢ - ٢٠) وتتطلب المواصفات القياسية للأسمنت البورتلاندى العادى والسريع المتصلد ألا يحدث الشك الابتدائى قبل مضى ٥٤ 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 .

نفس الجبس المستخدمة

وتأثيرها على زمن الشك:

يضاف الجبس عادة

إلى الكلنكر عند تغذيته

إلى الطواحين ليتم مزجها

وطحنهما معا وتتراوح

الكمية المضافة بما يناظر

حوالى ١ إلى ٣٪ من

ثالث أكسيد الكبريت

أى ما يعادل حوالى ٢

إلى ٦٪ من الجبس نقاوة

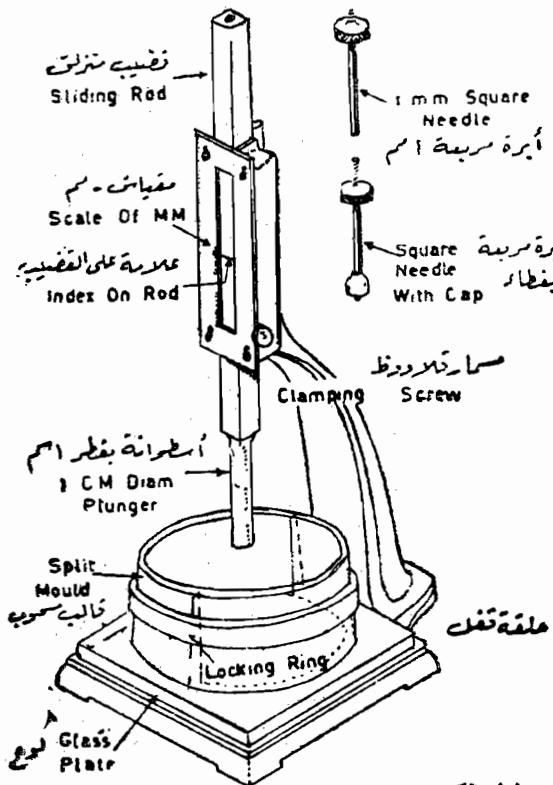
١٠٠٪، أو حوالى ٣

إلى ٩٪ من الجبس نقاوة

٧٥٪، أو حوالى ٥ إلى

١٠٪ من الجبس نقاوة

٥٠٪ وتحدد المواصفات



جهاز فيكات VICAT APPARATUS

القياسية المصرية الحد الأقصى النسبة ثالث أكسيد الكبريت في الاسمنت البورتلاندى بمقدار ٢,٥ ٪ بالوزن في الحالات التي لا تزيد فيها نسبة ألومينات الكالسيوم على ٧ ٪ بالوزن . وبمقدار ٤ ٪ بالوزن في الحالات التي يزيد فيها ثالث ألومينات الكالسيوم على ٧ ٪ بالوزن . وقد يسبب زيادة نسبة ثالث أكسيد الكبريت عن الحد المقرر أن يحدث تمدد بطيء في الاسمنت بعد شكه .

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

ميكانيكية عملية تبطؤ الشك باستخدام الجبس :

تعتبر عملية التحكم في زمن الشك من العمليات الهامة في صناعة الاسمنت ، حيث أن الاسمنت الذي لا يحتوي على مبطؤ الشك — مثل الجبس — يشك بسرعة كبيرة قد لا تمكن من إتاحة وقت كاف لإتمام عملية الخلط مع مكونات الخرسانة على الوجه الأكمل ، ثم عملية نقل هذه الخرسانة إلى مكان الصب ، ثم عملية الصب التي يلزم أن تتم قبل بداية الشك . هذا بالإضافة إلى أن عدم استخدام وسائل التحكم في زمن الشك يؤدي إلى عدم انتظام الشك في 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 عليهما وهي ألومينات ثلاثي الكالسيوم (٣ كا أ لو ٢ أ) ألومينات حديد رباعي الكالسيوم (٤ كا أ لو ٢ أ ح ٢ أ) وهذان المكونان هما المسئولان — من بين مكونات الاسمنت الأربعة الأساسية — عن الشك الوميض حيث أن ألومينات ثلاثي الكالسيوم تتميز بأعلى معدل الاماهة بين هذه المكونات ، ويليهما ألومينات حديد رباعي الكالسيوم ، ثم سليكات ثلاثي الكالسيوم ثم سليكات ثنائي الكالسيوم .

ولذلك فتعد إضافة الماء — في حالة عدم وجود الجبس كمادة مبطة — يبدأ بسرعة المكون الأول في الاماهة يليه المكون الثاني وينتج عن هذا انفصال بلورات من

ألومينات ثلاثي الكالسيوم الثنائي بكمية قد تكون كافية لتماسك الخلطة وحدوث الشك الوميضي ويكون ذلك مصحوباً بارتفاع درجة الحرارة . و يفسر التفاعلان الاتيان (١) و (٢) لإماهة هذين المكونين :

٣ كا أ . لو ٢ أ + ٦ يد أ = ٣ كا أ لو ٢ أ ٦ يد أ (بلورات) (١)
 ٤ كا أ لو ٢ أ ح ٢ أ + ن يد أ = ٣ كا أ لو ٢ أ ٦ يد أ + كا أ ح ٢ أ (ن-٦) يد أ (٢)
 أما في حالة وجود الجبس كمادة مبطة للشك ، فإن الجبس يتفاعل مع ألومينات ثلاثي الكالسيوم مكوناً سلفو ألومينات الكالسيوم المائي (تفاعل ٣) :

٣ كا أ لو ٢ أ + ٢ (كا ك ب ٢ يد أ) + ٢٥ يد أ = ٣ كا أ لو ٢ أ ٢ كا ك ب ٢ يد أ (٣)
 وهناك تفسير آخر وهو أن الجبس يتفاعل مع المواد القلوية التي قد تكون موجودة بالاسمنت محلياً هيدروكسيد الكالسيوم وهذا الأخير يتفاعل بدوره مع ألومينات ثلاثي الكالسيوم مكوناً مركباً أكثر ثباتاً هو ألومينات رباعي الكالسيوم (تفاعل ٤) :

٣ كا أ لو ٢ أ + كا (أيد) ٢ = ٤ كا أ لو ٢ أ + يد أ (٤)
 ويميز هذا التفسير ظاهرة زيادة تبطيء الشك في حالة إضافة كمية من الجير إلى الاسمنت أو في حالة وجود الجير كمادة حرة غير متحدة مع الاسمنت .

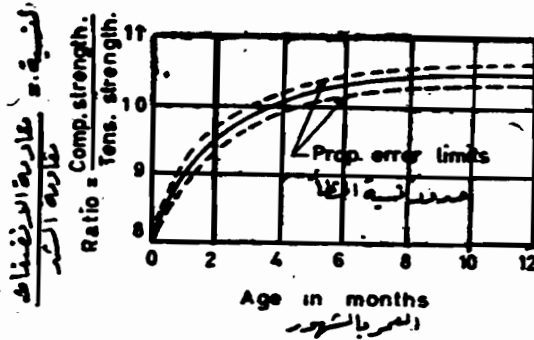
وفي جميع الأحوال فإنه ينتج عن إضافة الجبس كمادة مبطة أن يقل تركيز ألومينات ثلاثي الكالسيوم في المحلول إلى درجة لا تسمح بانفصال بلورات ألومينات ثلاثي الكالسيوم المائي (٣ كا أ ، لو ٢ أ ٦ يد أ) متيحاً بذلك وقتاً كافياً لإماهة سليكات ثلاثي الكالسيوم البطيئة ويفتج من هذه الإماهة انفصال بلورات لمبرية من هيدروكسيد الكالسيوم في وسط جيلائيني من سليكات ثنائي الكالسيوم المائي الذي يتم تبلوره ببطء بعد ذلك (تفاعل رقم ٥) .

٣ كا أ س أ + ن يد أ = ٢ كا أ س أ ٢ (ن - ١) يد أ + كا (أيد) ٢ (٥)
 ويلاحظ أن هذه العملية تستمر حتى يتم استنفاد الجبس أو يتم استنفاد ألومينات ثلاثي الكالسيوم بينما تستمر سليكات ثلاثي الكالسيوم في الإماهة . فإذا ما تم استنفاد الجبس أولاً فإن ألومينات ثلاثي الكالسيوم المتبقية تبدأ في الإماهة ولكن يتم ترسيب البلورات المائية المتكونة في وسط المنتجات المتكونة من إماهة سليكات ثلاثي

الكالسيوم والتي سبق بيانها ، ويزيد ذلك بالطبع من سرعة تماسك الخلطة وبالتالي من سرعة الشك الابتدائي .

(د) مقاومة الاسمنت البورتلاندى :

حددت المواصفات القياسية الحد الأدنى لمقاومة الاسمنت البورتلاندى المطلوبة منه سواء في الشد أو الضغط . وتعتبر مقاومة الشد في الاسمنت ليست بذات أهمية وذلك لأن مونة الاسمنت أو الخرسانة قلما تستعملان في تحمل إجهادات الشد . وقد قصر اختبار الشد في المعمل في حالة وجود علاقة بين إجهادات الشد وإجهادات الضغط ويمكن مع التجاوز إعتبار هذه العلاقة ثابتة إلى حد ما مع مرور الزمن كما يتبين من الشكل



رقم (٢-٢١) وتغير

بتغير نوع الاسمنت

ونسب الخلطات .

ولا يمكن اعتبار إجهاد

الشد مقياساً لمقاومة

الاسمنت في المونة

والخرسانة . ولذلك لم

يعد الشد اختباراً قياسياً

في المواصفات .

تأثير العمر على النسبة بين مقاومة الضغط ومقاومة الشد لمرنات الاسمنت البورتلاندى

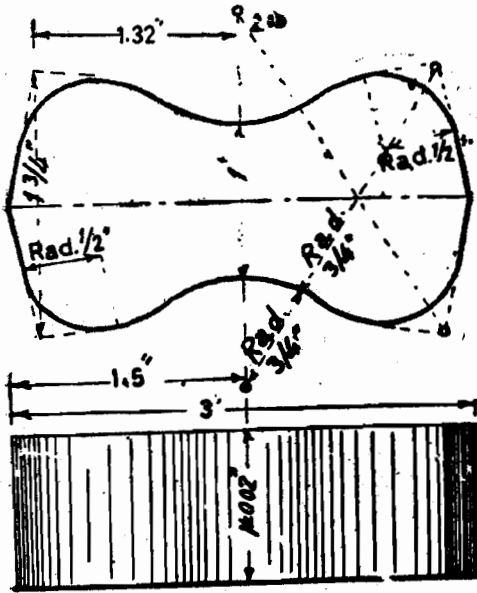
شكل رقم (٢ - ٢١)

ويدخل الاسمنت أساساً في المنشآت ليتحمل إجهادات الضغط ولذلك فإن إجهاد الضغط لمونة الاسمنت تكون ذات أهمية أكبر من إجهاد الشد .

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

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

إجهاد الشد بعد ٢٤ ساعة : لا تقل عن ٢١ كجم / سم^٢.
 إجهاد الشد بعد ٣ أيام : لا تقل عن ٣١,٥ كجم / سم^٢ وفي نفس الوقت أكبر
 من الإجهاد بعد يوم واحد.



BRIQUET SPECIMEN FOR TENSILE
STRENGTH TEST.

غنية طوبية مونة الاسمنت لأختبار
مقاومة الشد

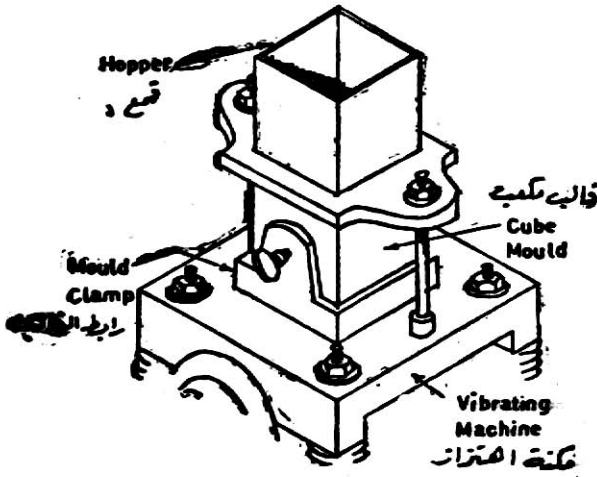
شكل رقم (٢ - ٢٢)

من المونة والخرسانة وتستخدم في إجراء الضغط المكبة المبينة بالشكل رقم (٢ - ٢٥).
 والجدول التالي رقم (٢ - ٥) يبين الاحتياجات المطلوبة لمقاومة الضغط على
 مونة الاسمنت والرمل القياسي بنسبة ١ : ٣ (بالوزن) ١.

جدول رقم (٢ - ٥) مقاومة الضغط لأنواع الاسمنت المختلفة

مقاومة الضغط كجم / سم ^٢		نوع الاسمنت
بعد ٧ أيام	بعد ٣ أيام	
لا تقل عن ٢٣٨	لا تقل عن ١٥٤	بورتلاندى عادى
لا تقل عن ٢١٠	لا تقل عن ١١٢	بورتلاندى حديدى
لا تقل عن ٢٨٠	لا تقل عن ٢١٠	بورتلاندى سريع التصلد

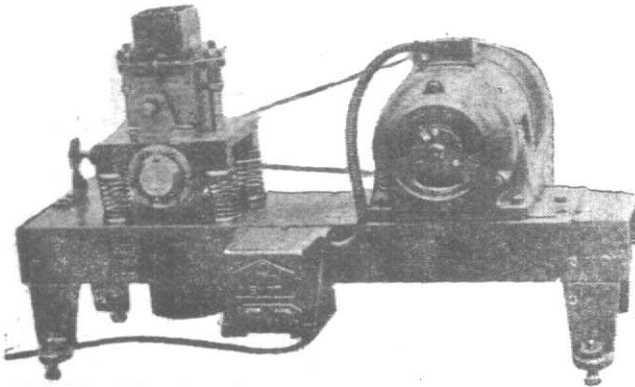
أما إجهاد الضغط فتحدد
 أيضاً باختبار مونة بنسبة ١ : ٣
 (أسمنت إلى رمل) بالوزن مع
 نسبة محددة من الماء = ١٠٪
 من وزن الرمل والأسمنت
 ويجرى الاختبار على قوالب
 مكعبة الشكل مسطح كل منها
 ٥٠ سم^٢ وطول ضلع المكعب
 ٧,٥ سم ويصير دمع القالب
 بالإهتزاز بنشيت القالب بمكة
 الاهتزاز كما يتضح من الشكل رقم
 (٢ - ٢٣) ورقم (٢ - ٢٤)
 ويفضل الكثير من المهندسين
 إختبار إجهاد الضغط وذلك
 لتشابه ظروف الاختبار مع
 الظروف التى تتعرض لها كل



MOULD AND HOPPER FITTED TO VIBRATOR

تمتيت القالب والمجمع بالاهتزاز
(قالب اختبار الانضغاط لمونة الاسمنت)

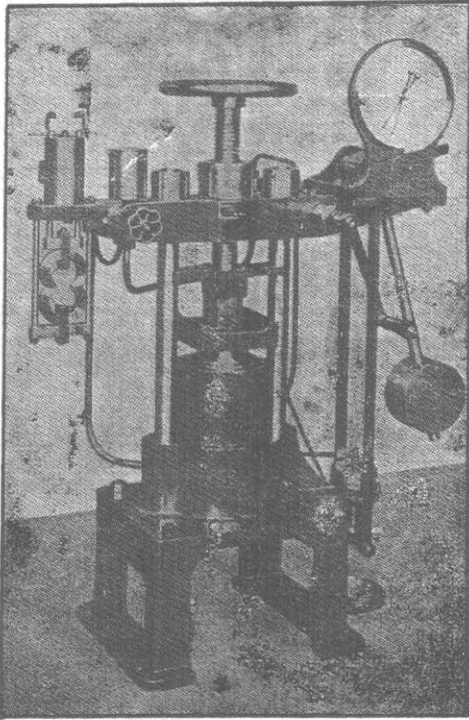
شكل رقم (٢ - ٢٣)



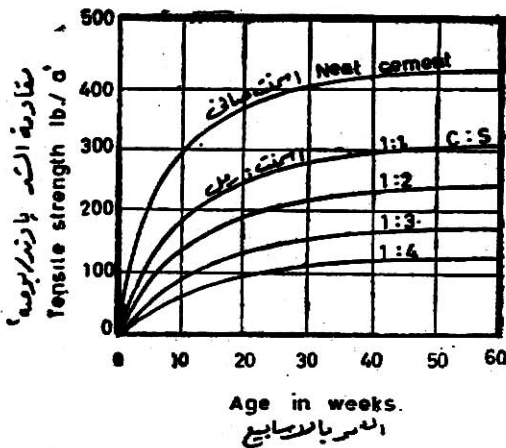
شكل رقم (٢ - ٢٤)
مكينة الاهتزاز لمك قالب الضغط

اللازمة فإن زيادة نعومة حبيبات الاسمنت يزيد من مقاومة المونة أو الخرسانة الناتجة وكذلك فإن التهوية بالإضافة إلى الطحن الجيد تزيدان من مقاومة الاسمنت . ويمكن الإشارة إلى ثلاث ملاحظات بالنسبة للأسمنت في المونة وهي :

ويؤثر التركيب الكيميائي للأسمنت 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 تأخيرها . 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



شكل رقم (٢ - ٢٥)
مكنة اختبار الضغط لمكبات مونة الأسمنت



تأثير نسبة الرمل والحصى على مقاومة مونة الأسمنت

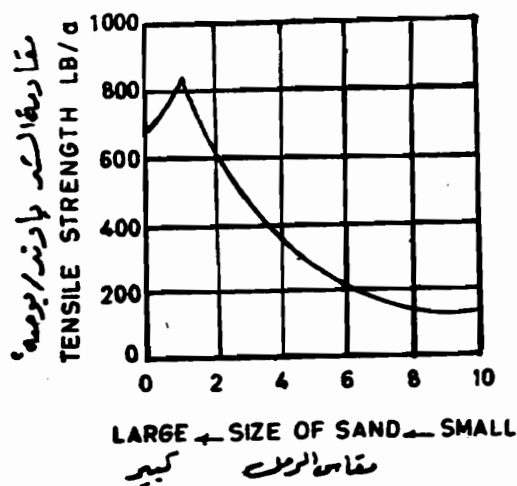
شكل رقم (٢ - ٢٦)

(١) نقص المقاومة
بزيادة نسبة الرمل في
الخليط . شكل رقم
(٢ - ٢٥)

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

(ج) اختلاف مقاومة
مونة الاسمنت باختلاف
مقاس الرمل المستعمل .
شكل رقم (٢ - ٢٧)
وكذلك يلاحظ أن

معدل الزيادة والمقاومة
يكون كبيراً في الفترة
الاولى للتصلد وينقص
المعدل كلما زاد الوقت .
وفي المرحلة الاولى
التفاعل مع الماء تدخل
الطبقات الاولى من
الاسمنت في التفاعل
الكيميائي وإذا اختبرت
قطعة من الخرسانة تحت
الميكرو سكوب يشاهد
أن الحبيبات التي لم يتم
تفاعلها تظل موجودة في
العمية المتصلدة .



شكل رقم (٢-٢٧)

إختلاف مقاومة مونة الأسمنت لشد باختلاف مقاس الرمل

وهذه الجيبيات التي لم يتم تفاعلها مع الماء تستمر في 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 في الاسمنت البورتلاندى العادى .

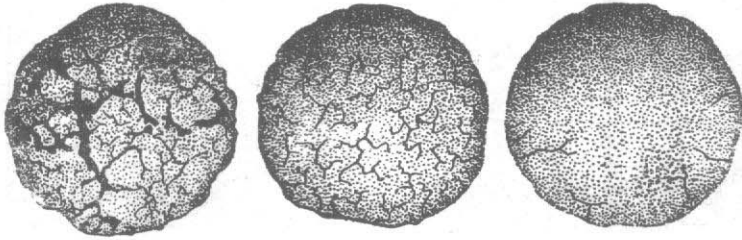
جدول رقم (٢-٦) عمق ونسبة الإماهة للأسمنت البورتلاندى العادى

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

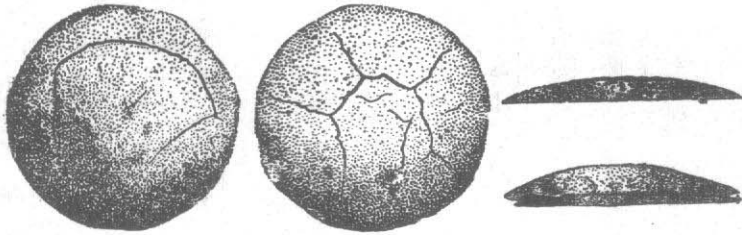
(هـ) ثبات حجم الاسمنت (Soundness)

ثبات حجم الاسمنت معناه غياب العناصر التي تعمل على الضرر بمقاومته وتعمله مع مرور الزمن وهذه الخاصية تعتبر واحدة من الخواص اللازمة للأسمنت . وقد ينتج عدم الثبات بعد تمام عملية الشك نتيجة لتمدد بعض المواد الداخلة في الاسمنت وهذا التمدد يصحبه تشققات ثم تفتت كتلة الاسمنت . كما يقين من الشكل رقم (٢-٣٠) .

ولما كانت بلورات الأسمنت تنكش أثناء جفافها وتتمدد برطوبتها فمن الواضح أن هذه الخاصية لمكونات الأسمنت تسبب انفكاشا للمونة أو الخرسانة في الهواء وتتمدد لهذه الحبيبات في الماء . ويمكن تقليل هذه الظاهرة بإضافة المواد المائلة الحاملة مثل الرمل في المونة والرمل والولط في الخرسانة .



التشققات بكتلة الأسمنت نتيجة التمدد



التشققات بكتلة الأسمنت نتيجة الانكماش

شكل رقم (٢ - ٢٨)

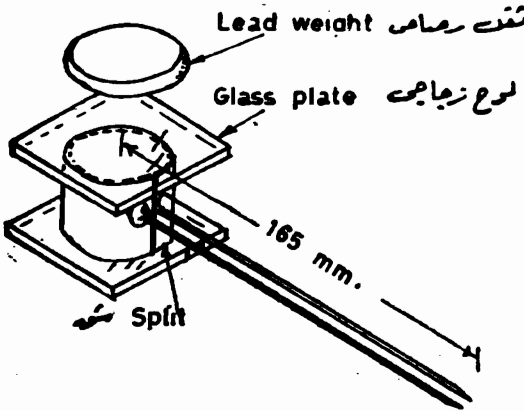
ويرجع عدم الثبات في الأسمنت غالبا إلى تفاعل الجير الحى الموجود في حبيبات الأسمنت مع الماء ويمنع الغلاف الحافظ للجيرية من تفاعل الجير الحى مع الماء بسرعة إلا أن الرطوبة تصل في النهاية إلى الجير بعد أن يصل الأسمنت إلى مرحلة الشك . هذا ويتمدد الجير بقوة ملحوظة أثناء عملية إطفائه وهذا الطغي المتأخر قد يسبب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

ويوجد سبب آخر لعدم الثبات وهو وجود زيادة في نسبة المغنيزيا المهمة . ولا يظهر عدم الثبات في هذه الحالة إلا بعد وقت طويل أطول من حالة الجير الحى وذلك لأن الماغينيزيا بعد أن تعرضت لدرجة كبيرة من الحرق مع الكلنمكر تستمر لمدة طويلة حتى يتم إطفائها . ولذلك تحدد المواصفات القياسية الحد الأعلى لنسبة الماغينيزيا في الأسمنت بحيث لا تتعدى ٠.٠٪ .

وكذلك يمكن أن تكون زيادة نسبة الكبريتات في الاسمنت عاملاً من عوامل عدم الثبات . والتعدد في هذه الحالة لا يرجع لتفاعل كبريتات الكالسيوم مع الماء ولكنه يعزى إلى تكون كبريتات الكالسيوم الألومينية التي تبين خطورتها عندما تكون موجودة بكميات كبيرة فقط . وتحدد المواصفات القياسية نسبة وجود الكبريتات على هيئة نالك أكسيد الكبريت SO_3 بحيث لا تزيد على ٣ ٪ .

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

وإذا سمح للأسمنت المتصف بعدم الثبات بالتمعرض للهواء لعدة أيام فإن الجير



CHATELIER MOULD

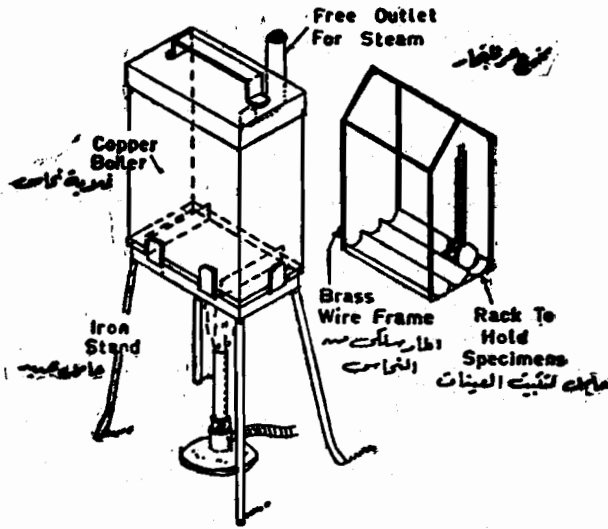
قالب "شاتلييه"

شكل رقم (١ - ٢٩)

الحى يأخذ فرصة كبيرة للاطفاء وقد يصبح الاسمنت بعد ذلك ثابت الحجم . ولكن من المعروف أن عملية التهوية للجو قد تضر بمقاومة الاسمنت ولذلك لا يلجأ إلى التهوية إلا إذا اتصف الاسمنت بعدم ثباته .

ونتيجة للآثار المترتبة على عدم ثبات الاسمنت فقد حددت المواصفات القياسية

الحدود التي يمكن التجاوز عنها في الاسمنت غير الثابت (بطريقة لوشاتلييه باستخدام القالب شكل (٢-٢٩) وجهاز الغلاية شكل رقم (٢-٣٠) كما سيبين فيما بعد كما سمعت المواصفات القياسية بإعادة الاختبار باستعمال عينة أخرى في أى وقت خلال ٢٨ يوماً بعد الاختبار الأول



LE CHATELIER BOILING APPARATUS

جهاز غلاية "لوشاتيليه"

شكل رقم (٢ - ٣٠)

مبدا : انواع الاسمنت البورتلاندى

دلت التحليلات المختلفة التي أجريت على الاسمنت البورتلاندى أن خواصه تتأثر بتغير مكونات المواد الخام الداخلة في تركيبه كما يمكن الحصول على مدى واسع من الخواص المميزة عن طريق تغيير نسب هذه المواد الخام . وتأثر كذلك خواص الاسمنت البورتلاندى بدرجة نعومته والطرق الفنية المختلفة لصنائه .

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

(١) الاسمنت البورتلاندى مبكر المقاومة العالية

(High Early Strength Portland Cement)

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

سوبر كريت ، . ويصنع هذا النوع من الاسمنت بحرق الحامات الغنية بالجير والتي تحرق ثم قطع لدرجة عالية من النعومة . ويحتوى هذا الاسمنت على نسبة عالية من سليكات ثلاثى الكالسيوم أكبر من تلك الموجودة فى الاسمنت البورتلاندى العادى . وعلى ذلك نحصل على المقاومة العالية المبكرة نتيجة لظن الناعم وزيادة سليكات ثلاثى الكالسيوم والعناية الفائقة فى اختيار المواد الخام المكونة له . وزمن للشك 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 يصطبب بارتفاع ملحوظ فى درجة الحرارة .. والحرسانة المصنوعة من هذا الاسمنت تتحمل الاجهادات المبكرة وقص إلى درجة كبيرة من مقاومتها فى الرابع والعشرين ساعة الاولى وحريراً كل مقاومتها بعد ثلاثة أيام . وخططات المونة المسكونة بنسبة ١:٣ من الاسمنت والرمل والتي يجب أن يكون إجهاد الشد فيها لا يقل عن ٢١ كجم / سم^٢ 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 الاسمنت فى صناعة البلوكات الحرسانية والوحدات الجاهزة حتى يمكن نقل هذه المنتجات بعد مدة قصيرة من صياها واستعمال قوالب العصب فى العمليات المتتالية وذلك توفيراً فى عدد هذه القوالب . أما فى أعمال البناء قرفع 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 الاسمنت 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 الاسمنت فإن الحرارة الناتجة عن عمليات التفاعل تكون أعلى منها فى الاسمنت العادى كما ذكرنا سابقاً . وهذه الخاصة تسبب اختلافاً فى درجة الحرارة فى الاجزاء المختلفة من الحرسانة ينبعج عنه إجهادات شد داخلية فى الحرسانة مما يعمل على حدوث تشققات . وعلى ذلك يحسن عدم استعمال هذا النوع من الاسمنت فى الانشاءات

الحرسانية ذات القطاعات المنحنية (الحرسانة الكتلية) مثل السدود ودعامات الكبارى وأكتافها .



ولكن قد تظهر قائمة لهذه الخاصية في الأسمنت مبكر المقاومة في الأجزاء الباردة إذ أن ارتفاع حرارة الإماهة المنبجئة عند التفاعل — الأسمنت مع الماء — تساعد على الوصول إلى المقاومة المناسبة في وقت مبكر قبل حدوث أى تجمد للماء الخلط .

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

شكل رقم (٢ — ٣١)

مبنى كبير الارتفاع متعدد الأدوار حيث يفضل استخدام الأسمنت البورتلاندى مبكر المقاومة العالية

وهناك رأى يفضل استخدام الأسمنت

البورتلاندى العادى مع زيادة في كمية الأسمنت وذلك إذا كان من الممكن معالجة الحرسانة لفترة تزيد على ثلاثة أيام بدلا من استعمال الأسمنت المبكر المقاومة .

(ب) الاسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة

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



شكل رقم (٢ - ٣٢) سد خرساني حيث يستخدم الاسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة

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

نفاذيتها للباء . والحرسانة المكونة من الاسمنت منخفض الحرارة تكون في بدايتها أضعف منها في بداية الاسمنت البورتلاندى العادى ولكن يتساوى النوعان في مقاومتها في النهاية وبذلك لا يفضل استعمال هذا النوع من الاسمنت في الاعمال الهامة التى تتطلب سرعة في الحصول على المقاومة .

(ح) الاسمنت البورتلاندى الابيض

(White portland Cement)

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

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

وتزيد تكاليف الحريق في كلنكر الاسمنت الابيض عنها في الاسمنت العادى وذلك لما يتطلبه هذا الاسمنت من درجة حرارة عالية لانخفاض نسبة الحديد في الخامات كذلك يجب أن يكون الوقود المستعمل في 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 في الاسمنت الابيض نتيجة لفقد نسبة الحديد .

وفى اى النسب المثوية لتركيبات الكيميائية في الاسمنت الابيض 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 ٪	الفاناد بالحرير	٢,٤ ٪

أما النسبة المثوية للركبات الرئيسية لهذا الاسمنت فهي كالآتي :

سليكات ثلاثى الكالسيوم ٥٠,٨ ٪ - ألومينات ثلاثى الكالسيوم ١٠,٢ ٪
 سليكات ثنائى الكالسيوم ٣١,٥ ٪ - ألومينات حديد رباعى الكالسيوم ١,٢٠ ٪
 وللاحتياط عند الطحن من اختلاط أى نسبة حديد من كور طحن الكلنكر تستعمل
 كور طحن من سبيكة من التيكل والمنجنيز والموليبدنم بدلا من الصلب أو الحديد .
 ويمكن تلخيص وجوه استعمالات الاسمنت البورتلاندى الابيض فيما يلى :
 - البلاط بكافة أنواعه .

- الموازيك بمختلف تشكيلاته كالبلات والاعمدة وبلطات الواجيت ودرج
 السلم والارضيات والحوائط والأسفال وأحواض الهور والوينة والسباحة والقائيل .
 - تغطية الاسطح الخارجية للبانى بمونة الاسمنت الابيض أو الملون
 بأشكاله المختلفة .

- لصق الرغام والسيراميك والطوب الزجاجى والادوات الصحية وغيرها .
- الحجر الصناعى وجميع أنواع المصبوبات .
- أرصفة الطرق وعلامات المرور الارضية بالطرق والمطارات .
- ترميم الآثار وأعمال القائيل والنافورات وغيرها .

(و) الاسمنت البورتلاندى الملون

(Coloured Portland Gement)

يتكون هذا الاسمنت من إضافة صبغات المواد غير القعاق إلى الاسمنت الابيض
 أو البورتلاندى العادى ويشترط فى هذه المواد المضاعطة عدم تأثرها بالجير وألا يتغير
 لونها بتعرضها المستمر للجو . وكذلك يجب ألا تحتوى على أنواع من الجبس الضار
 بالحرسانة . ولا تقي الاصباغ العضوية عادة بهذه الشروط ولذلك لا تدخل
 فى الاسمنت الملون بل يستعمل بدلا منها الاصباغ المعدنية حيث تضاف هذه المواد
 عند طحن الكلنكر . ويجب ألا تزيد هذه الاصباغ عن ١٠ ٪ من وزن الاسمنت
 إذ أن زيادة هذه النسبة تقل من مقاومة الحرسانة وتزيد من معامل انكاشها . ومعظم

الالوان المستعملة هي الاحمر والاصفر والبني حيث تتكون من أكاسيد الحديد وكذلك اللون الاخضر الفاتح الذى يمكن الحصول عليه بإضافة أكسيد الكروم . ويمكن الحصول على الالوان الفاتحة من هذه الالوان بإضافة الاسمنت الابيض . أما اللون الرمادى والغامق فيمكن الحصول عليه بإضافة كمية قليلة من الكربون الاسود .

(هـ) الاسمنت 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 الاسمنت ذى الهواء المحبوس الذى يتكون من إضافة مواد معينة للكلنكر عند الطحن لتعطى هذه الخاصية .

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

(و) الاسمنت البورتلاندى السدود للماء

(Water - tight Portland Cement)

يمكن الحصول على الاسمنتات المألعة 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 سترات الصوديوم والبيوتاسيوم والألومنيوم تذوب فى الماء . فعند استعمال سترات الصوديوم فى الخرسانة يحدث تفاعل مزدوج بين الكالسيوم الموجود فى الماء والصوديوم الموجود فى السترات مكوناً سترات الكالسيوم غير القابلة للذوبان فى الماء والذى يعمل على طرد الماء وتعطى للاسمنت خاصية عدم نفاذيته للسوائل وقد تقلل إضافة هذه المواد من مقاومة الخرسانة ولكن يمكن التغلب على ذلك بزيادة محتوى الاسمنت ويجب ملاحظة العناية الفائقة فى إنتاج هذا النوع من الخرسانة .

(ز) الاسمنت المقاوم للبكتريا

(Anti - Bacteria Portland Cement)

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

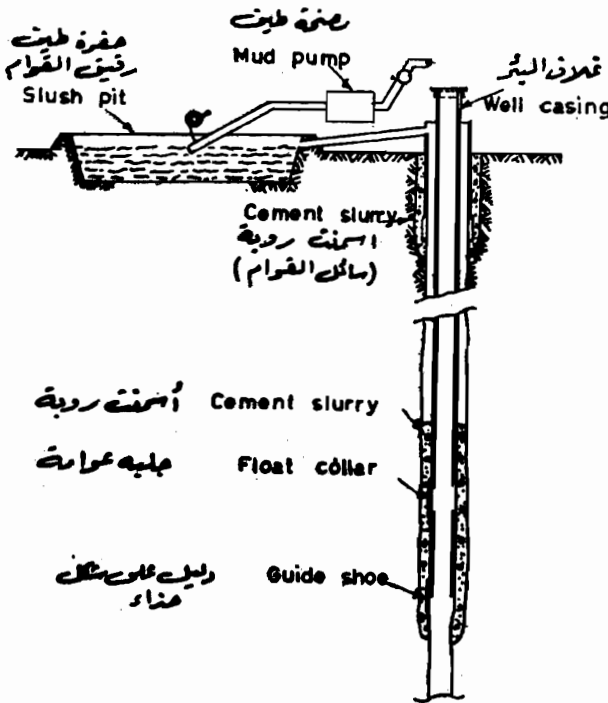
ويفضل استعمال هذه الانواع من الاسمنت في أرضيات وجدران مصانع الاغذية مثل مصانع الألبان والبيرة وتمبئة المأكولات وحمامات السباحة .

(ح) أسمنت بورتلاندى آبار البترول

(Oil Well Portland Cement)

نظراً للاكتشافات المتوالية لآبار البترول فقد أصبح من الضروري دراسة كل ما هو متعلق بهذه الآبار ومنها الاسمنت الذي سيستعمل في بنائها شكل رقم (٢-٢٣) وقد أمكن الوصول إلى هذا النوع من الاسمنت بإضافة مواد عند طحن الكلنكر تتحكم في زمن الشك وقد استعمل الاسمنت لأول مرة في بناء آبار البترول حوالي سنة ١٩٠٧ - ١٩٠٨ وكان استعمال الاسمنت العادى يعوق استخراج البترول نتيجة انتظار تصلد الاسمنت لدرجة كافية يمكنها من تحمل الإجهادات ، وهناك نوعان من أسمنت آبار البترول :

- ١ - الاسمنت عادى الشك : ويستعمل في الآبار التي تصل إلى عمق ٦٠٠٠ قدم .
 - ٢ - الاسمنت بطيء الشك : ويستعمل في الآبار التي تصل إلى أعماق ما بين 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 اللجنين الكازين كبطئات للشك بدلا من الجبس ولكن لم تنجح أى من هاتين المادتين في الاعماق التي تزيد عن ١٦٠٠٠ قدم . وبعد ملاحظة أن ألومينات ثلاثى الكالسيوم هي المسئولة عن الشك والتصلد السريع في الاسمنت فقد استعملت أسمنتات ليس بها هذا المركب ونجحت هذه الانواع في عمليات الضغط التي تتطلب أوقاتاً طويلة . ويمكن الحصول على هذا النوع من الاسمنت بإضافة كميات



COMPLETED OIL WELL CASING CEMENTING JOB

عمل غلاف اسمنتى لبئر زيت كامل

شكل رقم (٣-٣٢)

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

— 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 لانجيز (Emil Langenes) فى سنة ١٨٦٢ خاصية تحبب خبث الأفران العالية (الجليخ) فى صناعة الحديد والصلب ، وذلك عندما يبرد بالماء ، ومن المعروف أن خام الحديد يحتوى على نسبة كبيرة من الطين بالإضافة إلى الحجر الجيري 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 الكيمايى بصفة عامة كما يلى :

* الاسم التجارى المصرى للأسمنت البورتلاندى خبث الأفران العالية .

السليكا (الرمل) : من ٣٠ إلى ٤٠ ٪ $\pm$ ٣ ٪

الالومينا (الكاولينا) : من ٨ إلى ١٨ ٪ $\pm$ ٢ ٪

أكسيد الكالسيوم (الجير) : من ٤٠ إلى ٥٠ ٪ $\pm$ ٣ ٪

وهذا التكوين يشبه إلى حد كبير ما ينتج من تكليس الحجر الجيري والطين ، وإذا كانت نسبة أكسيد الكالسيوم في جلتج الحديد عالية ، فمعد طعنه يعطى أسمنتاً حقيقياً . وكانت ألمانيا من أوائل الدول التي استعملت جلتج الحديد في إنتاج الاسمنت تجارياً وكان ذلك في سنة ١٨٦٥ ، وفي سنة ١٨٦٢ استعمل الجلتج لأول مرة في ألمانيا في إنتاج الاسمنت البورتلاندى الحديدى ووضعته في مواصفاتها القياسية (DIN - 1164) ولصت فيها على المعادلة المشهورة التي تحدد نسبة الأكسيد الموجودة في الجلتج المستعمل في صناعة الاسمنت ، وهي :

$$\frac{\text{أكسيد الكالسيوم} + \text{أكسيد المغنسيوم} + \text{أكسيد الالومنيوم}}{\text{أكسيد السليكون}} \leq 1$$

وقد اختلفت نسبة الجلتج الداخلة في تركيب الاسمنت البورتلاندى الحديدى طبقاً للخواص القياسية من دولة إلى أخرى ، ويتنوع الاسمنت البورتلاندى الحديدى الذي يختلف في خواصه تبعاً لاختلاف هذه النسب وتحدد المواصفات القياسية البريطانية (B. S. 146) الحد الأعلى لنسبة الجلتج في الاسمنت الحديدى بمقدار ٦٥ ٪ . أما في المواصفات القياسية الأمريكية فتتراوح هذه النسبة بين ٢٥ و ٦٥ ٪ .

وبالنسبة لما اتبع في مصر فقد أجريت الاختبارات على عدة خلطات بنسب مختلفة من الجلتج والكلنكر وأثبتت نتائج هذه الاختبارات أن إضافة الجلتج بنسبة ٣٥ ٪ تعطى أسمنتاً يتفق مع المواصفات القياسية للاسمنت البورتلاندى الحديدى . وفيما يلي نتيجة متوسطة التحليل الكيميائي لحثب القرن العالي بإنتاج شركة الحديد والصلب المصرية :

أكسيد الالومنيوم = ١٣,٦٤ ٪

أكسيد الكالسيوم = ٤٥,٤٨ ٪

أكسيد المنجنيز = ١,١٥ ٪

أكسيد السليكون = ٣٣,٦٧ ٪

أكسيد الحديد = ٠,٥٦ ٪

أكسيد المغنسيوم = ٢,٩٥ ٪

الكبريت = ١,٢٠ ٪

ويصنع الاسمنت البورتلاندى الحديدى ٣٥ المصرى بإضافة الجملخ إلى الكلنكر بحيث تكون نسبة الجملخ ٣٥ ٪ من المخروط ، 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 الجملخ كمصنر 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 للواصفات القياسية بما يلى :

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

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

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

٤ - الاسمنت البورتلاندى الحديدى أرخص من الاسمنت البورتلاندى العادى .

اشتراطات المواصفات المصرية للأسمنت البورتلاندى الحديدى :

(١) الخواص الطبيعية والميكانيكية :

١ - النوعية :

لا تزيد نسبة المتبقى على المنخل القياسى ٠,٠٩ مم (منخل قياسى رقم ١٧٠) على ١٠ ٪ بالوزن أولا تقل المساحة النوعية للسطح على ٢٢٥٠ سم^٢ / جم وذلك عند إجراء اختبار النوعية بطريقة (بلين) لتحديد المساحة النوعية للسطح .

٢ - زمن الشك :

لا يقل زمن الشك الابتدائي عن ٥ دقيقتين ولا يزيد زمن الشك النهائي على ١٠ ساعات

٣ - ثبات الحجم :

لا يزيد 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 تقريباً على سطح جاف فى جو رطوبته النسبية ٥٠ إلى ٨٠٪ وفى هذه الحالة لا يزيد تمدد الأسمنت عن ٥ مم .

٤ - مقاومة الضغط :

لا يقل متوسط الضغط لثلاثة مكعبات (مساحة سطح المكعب ٥٠ سم^٢) من قوة الأسمنت (١ أسمنت : ٣ رمل قياسى بالوزن) عما يأتى :

مقاومة الضغط بعد ٣ أيام (٧٢ ± ساعة واحدة) ١١٢ كجم / سم^٢ .
مقاومة الضغط بعد ٧ أيام (١٦٨ ± ساعتان) ٢١٠ كجم / سم^٢ ويجب تكون أكبر من مقاومة الضغط بعد ٣ أيام .

وفى حالة اختبار مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوماً تكون هذه المقاومة ٢٥٠ كجم / سم^٢ على الأقل ويجب تكون أكبر من مقاومة الضغط بعد ٧ أيام .

(ب) التركيب الكيميائى :

١ - يكون الكلثكر الداخلى فى تركيب الأسمنت البورتلاندى الحديدى مطابقاً لما نصت عليه المواصفات القياسية المصرية الخاصة بالأسمنت البورتلاندى العادى والأسمنت البورتلاندى سريع التصلد .

٢ - يكون الأسمنت البورتلاندى الحديدى الناتج مطابقاً للاشتراطات الآتية :

(أ) لا تزيد نسبة المواد غير القابلة للذوبان على ١,٥٪ بالوزن .

(ب) لا تزيد نسبة الماغنيزيا على ٧٪ بالوزن .

(ج) لا تزيد نسبة ثالث أكسيد الكبريت على ٣٪ ولا تزيد نسبة الكبريت

الموجود على هيئة كبريتيد على ١,٥٪ ويجب ألا يزيد مجموع نسبة ثالث أكسيد

الكبريت والكبريت الحر مقدراً على هيئة ثالث أكسيد الكبريت على ٦,٧٥٪ بالوزن.
(د) لا يزيد الفقد بالحرق على ٤٪ بالوزن .

سابعاً - بعض الأنواع الأخرى من الاسمنت (١) الاسمنت الطبيعي (Natural Cement)

١ - تعريف :

الاسمنت الطبيعي هو المادة الناتجة عن طحن الحجر الجيري الطحل كامل التكليس طحناً جيداً ناعماً بحيث لا تزيد نسب المواد المضافة النقية بعد التكليس عن ٥٪ .
ويجب ألا تزيد درجة حرارة التكليس عن الدرجة المطلوبة لإخراج غاز ثاني أكسيد الكربون من الحجر الجيري .

ويصنع الاسمنت الطبيعي بتكليس الحجر الجيري الطحل الطبيعي المحتوى على نسبة كافية من الألومينا والسليكا والتي ينتج عنها بعد التكليس مادة سليكات الكالسيوم وألومينات الكالسيوم التي لها القدرة على التصلد عند إضافة الماء معطية هذه المادة خواصها الاسمنتية . وتصل درجة الحرارة اللازمة لتكليس إلى ١٣٠٠°م ويطن كاشكر الاسمنت الطبيعي طحناً ناعماً بحيث يمر ٨٥٪ من ناتج الطحن من منخل ٢٠٠ .

٢ - أحجار الاسمنت الطبيعي :

الحجر الجيري الطحل الطبيعي الذي يصلح لصناعة الاسمنت الطبيعي هو الذي تدخل فيه العطفة بنسبة تتراوح بين ١٣٪ ، ٢٥٪ وتصل نسبة السليكا بين ١٠٪ - ٢٠٪ . بالإضافة إلى النسبة المناسبة من أكسيد الألومينا وأكسيد الحديد . وتنتج الخواص الهيدروليكية للأسمنت نقيجة لوجود هذه المادة العطفية .

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

٣ - صناعة الاسمنت الطبيعي :

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

(قينة الاحتراق) . ثم تحمل هذه الاحجار المكسرة في عربات وترفع إلى فوهات الافران بحيث تغط بفحم الكوك أو تشحن القمينة بطبقات متبادلة من الحجر والفحم ويتم شحن القمينة بهذه الطبقات من الفحم والحجر طوال النهار بدون توقف وبقدر المستطاع في الليل . وبينما تأخذ الشحنات طريقها إلى قاع الفرن فإنها تتكلس طاردها أكبر جزء من ثاني أكسيد الكربون .

وعندما تصل إلى قاع الفرن فإنها تخرج منه على هيئة كتلكر لينقل إلى مكثات الطحن ويحتوى الكتلكر الناتج في معظم الاحيان على جير حى ويمكن القضاء على هذا الجير الحى بمعالجة بالطحن عادة بالرش بالماء أو معالجة الكتلكر بالبخار ثم يكسر الكتلكر في بعض أنواع من الكسارات وينقل بعدها ليم طحنه في أى نوع من الأنواع العديدة لمكثات الطحن مثل طواحين الكرات أو الطواحين الإسطوانية .

والتغيرات الكيميائية التى تحدث أثناء التكليس يمكن اختصارها فيما يلى :
يتبخر الماء الموجود بالحجارة أولاً وعند درجة ٨٠٠° م تفصل كربونات الماغسيوم ثم يخرج ثاني أكسيد الكربون عند درجة ٩٠٠° م ثم تفصل حيثند كربونات الكالسيوم . وعند درجة حرارة تتراوح بين ٩٠٠° م ، ١٠٠٠° م تحلل العفلة وتكون حيثند ألومينات الجير ومركبات الجير الحديدية كذلك الماغنيسيا وأخيراً وعند درجة حرارة ١٢٠٠° م تتكون سليكات الكالسيوم وسليكات الماغنيسيا .

٤ — خواص الاسمنت الطبيعى :

توجد اختلافات واضحة في خواص الاسمنت الطبيعى المنتج في المناطق المختلفة وذلك للفروق الفاسحة في المواد الخام الداخلة في تكوينه .

ويجمع الاسمنت الطبيعى في خواصه بين الجير الهيدروليكي والاسمنت البورتلاندى ويختلف عن الجير الهيدروليكي في أنه لا يطفأ عند إضافة الماء إليه ويختلف عن الاسمنت البورتلاندى في درجة الحرارة المنخفضة اللازمة لعفلية التكليس وكذلك في سرعة الشك بالإضافة إلى أن له نصف مقاومة الاسمنت البورتلاندى .

ويمكن أن تتضح معالم الفروق بين الاسمنت الطبيعى والبورتلاندى من الجدول

رقم (٢-٧) .

جدول رقم (٢-٧) الفرق بين الاسمنت الطبيعي والبورتلاندى العادى

الخاصية	الاسمنت الطبيعى	الاسمنت البورتلاندى
المواد الخام	حجر جيرى طفى 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
الكثافة النوعية	٢,٧ إلى ٣,١	٣,١ إلى ٣,٢
معدل الشك	عادة سريع	بطيء 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 - ٢٩,٢ %
أكسيد الألومينا	٥,٢ - ٨,٨ %
أكسيد الحديد	١,٤ - ٢,٣ %
أكسيد الكالسيوم	٣,١ - ٥٧,٦٠ %
أكسيد المغنيسيوم	١,٤ - ٢١,٥٠ %

ويمكن أن نلاحظ أن مكونات الاسمنت الطبيعى تختلف باختلاف بيئة ويصحب هذا الاختلاف الواسع فى المكونات اختلافات واضحة فى الخواص الميكانيكية للأسمنت الطبيعى .

٦ - الكثافة النوعية:

تقل الكثافة النوعية للأسمنت الطبيعي قليلاً عن الكثافة النوعية للأسمنت البورتلاندى العادى وتكون الكثافة النوعية المتوسطة للأسمنت الطبيعي حوالى ٢,٩٥.

٧ - زمن الشك :

بمقارنة الأسمنت الطبيعي والبورتلاندى من ناحية زمن الشك نجد أن الأسمنت الطبيعي يتصف بسرعة الشك . وتحدد المواصفات القياسية بالآقل يقل زمن الشك الابتدائى عن عشر دقائق باستعمال جهاز فيكات وكذلك يجب ألا يزيد الشك النهائى عن عشر ساعات وإضافة الجبس أو المصيص تؤثر تأثيراً كبيراً على تبطين زمن الشك فى الأسمنت الطبيعي وتختلف درجة تبطين الشك مع كمية الجبس المضافة باختلاف المكونات الكيميائية للأسمنت الطبيعي .

٨ - مقاومة الشد :

تختلف مقاومة الشد كباقي الخواص الطبيعية الخاصة بالأسمنت الطبيعي ولا تختلف مقاومة الشد فقط عند مقارنته بأسمنت من مناطق أخرى ولكن 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 والتعومة .

(١) مقاومة الشد :

تجرى الاختبارات على طويزات من مونة قياسية مكونة من جزء واحد من الأسمنت الطبيعي وجزءين من الرمل بالوزن . ويجب ألا تقل مقاومة الشد عما يأتى :
 — بعد يوم واحد فى الهواء الرطب وستة أيام فى الماء... تكون مقاومة الشد ٢٥,٢٥ كجم/سم^٢
 — بعد د د د د د ٢٧ يوماً فى الماء... تكون مقاومة الشد ١٠,١٠ كجم/سم^٢

(ب) مقاومة الضغط :

تجرى الاختبارات على مكعبات مكونة من جزء واحد من الأسمنت الطبيعي وجزء واحد من الرمل بالوزن ويجب ألا تقل مقاومة الضغط عن القيم التالية:
 — بعد يوم واحد فى الهواء الرطب وستة أيام فى الماء مقاومة الضغط المطلوبة ٣٥ كجم / سم^٢
 — بعد د د د د د ٢٧ يوماً فى الماء مقاومة الضغط المطلوبة ٧٠ كجم/سم^٢

(ح) النعومة :

تحدد القيمة المتوسطة للساحة النوعية للسطح بطريقة بلين بحيث لا تقل عن ٦٠٠٠ سم^٢ / جم على ألا تقل القيمة المطلوبة عن ٥٥٠٠ سم^٢ / جم لأي عينة .

ويحتاج الاسمنت الطبيعي إلى زيادة كمية ماء الخلط للوصول إلى العجينة القياسية . ويشك بسرعة ولكن بدرجة منخفضة أقل من تلك الناتجة في الاسمنت البورتلاندى .

ويختلف زمن الشك الابتدائي بين ١٥ دقيقة وساعة واحدة وزمن الشك النهائي يحدث غالباً بعد ثلاث ساعات . ومن المعروف أن زيادة كمية الماء المضاف للعجينة عن النسب القياسية يعطى من زمن الشك في عجائن المون المكونة من الاسمنت الطبيعي كذلك تعمل التهوية على تطويل زمن الشك في الاسمنت الطبيعي .

ويعمل تعريض الاسمنت الطبيعي للهوى على تقليل مقاومة المونة المستعمل في تركيبها هذا الاسمنت للهوى . وتزيد مقاومة الشد للاسمنت الطبيعي بمضى الزمن .

٩ — استعمال الاسمنت الطبيعي :

كان الاسمنت الطبيعي يستعمل على نطاق واسع حتى ابتداء القرن العشرين وذلك في الخرسانات التي لا تتطلب مقاومة عالية .

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

وعندما يتطلب الاقتصاد في التكاليف فإن الاسمنت الطبيعي يستعمل بدلاً من الاسمنت البورتلاندى في المون والخرسانات اللازمة للأساسات الثقيلة والتي لا تكون عرضة لإجهادات كبيرة ، وكذلك يستعمل الاسمنت الطبيعي في عمليات الملء لأعمال المبانى ذات القطاعات الضخمة .

ويجب ألا يستعمل الاسمنت الطبيعي في المواقع المعرضة لإجهادات كبيرة . وألا يستعمل تحت الماء وهو غير مناسب للاستعمال في الأعمال البحرية .

(ب) الأسمنت عالي الألومينا

(High Alumina Cement)

صنع هذا النوع من الأسمنت في أول مرة في فرنسا تحت اسم « أسمنت فوندي »، ويطلق عليه عادة اسم (الأسمنت الألوميني). والمواد الخام التي يتكون منها هي المواد الجيرية والمواد الألومينية (الجير والبوكسيت) ويصنع هذا الأسمنت بصهر هذه المواد إلى درجة السيولة ثم يبرد الناتج ويطحن طحنا ناعما ولا تضاف أي مادة أخرى بعد صهر المواد الخام سوى الماء .

وتعتبر نسبة الألومينات في هذا الأسمنت عالية حيث يتراوح مقدارها من ٢٥ إلى ٤٤٪. ويتسبب عن وجودها سرعة كبيرة في تصلب الأسمنت وحصوله على مقاومته القصوى بسرعة فائقة حيث يتم ذلك في مدة ٢٤ ساعة في حين أن الأسمنت البورتلاندي العادي يحتاج للوصول إلى معظم مقاومته لفترة ٢٨ يوما . وترجع علينا الشك والتصلد في الأسمنت الألوميني إلى تكون ألومينات أحادي الكالسيوم والتي يصحبها ارتفاع كبير وصريع في درجة الحرارة ويفضل الأسمنت الألوميني أي نوع من الأسمنت البورتلاندي في مقاومة الكبريتات والأحماض المخففة وماء البحر .

ومن أخطر عيوب الأسمنت الألوميني أنه يفقد جزءا من مقاومته للضغط إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى أكثر من حوالي ٣٠٠°م وهذا الفقد يحدث سواء كان ارتفاع درجة الحرارة أثناء الشك والتصلد أو حتى بعد عملية التصلد . لهذا لا يستحسن الأسمنت الألوميني في الأجواء الحارة أو شبه الحارة .

ويجب أخذ كل الاحتياطات لإبعاد شكاير الأسمنت الألوميني عن الأسمنت البورتلاندي العادي حيث يتسبب عن وجود أي كمية صغيرة من أحدهما في الآخر سرعة فائقة في الشك وضعف في المقاومة ، كما يجب عدم استخدام الأسمنت الألوميني في الانشاءات الكتلية نتيجة للحرارة الكبيرة التي تنبعث عند التفاعل . وقد يكون لهذه الحرارة فائدة في الأجواء الباردة جداً حيث تساعد على استمرار عمل الشك والتصلد اللتين قد تتأخران أو ربما تتوقفان في الاستماتات الأخرى . وتكاليف هذا الأسمنت تعادل حوالي ثلاثة أمثال الأسمنت البورتلاندي العادي . ويشير التحليل الكيميائي للأسمنت عالي الألومينا إلى التركيب الآتي :

سليكا ٢ - ٨٪ أكسيد حديد ١٤ - ١٨٪

أومينا	٣٧ - ٣٩ %	جير	٣١ - ٤١ %
ماغنيزيا	٠,٧٥ - ١ %	كبريت	٠,٥ - ١,٥ %

أما خواصه الطبيعية وفقاً للمواصفات القياسية فتتلخص فيما يلي :

النعومة : لا يزيد المتبقى على المنخل القياسي ٠.٩ مم (منخل رقم ١٧٠) عن ٠.٨ %.

أو لا تقل المساحة النوعية للسطح عن ٢٢٥٠ سم^٢ / جم

الشك : لا يقل زمن الشك الابتدائي عن ساعتين ولا يزيد عن ست ساعات .

أما الشك النهائي فيجب ألا يقل عن ساعتين بعد زمن الشك الابتدائي .

الثبات : لا يزيد التمدد (لوشاتلييه) عن ١ مم

مقاومة الضغط : بعد يوم واحد لا تقل عن ٤٢٠ كجم / سم^٢

بعد ثلاثة أيام لا تقل عن ٤٩٠ كجم / سم^٢

(ح) الاسمنت المخلوط (كرتك) *

يتكون الاسمنت المخلوط من المكونات الآتية :

١ - كلنكر أسمنت بورتلاندى عادى .

٢ - مادة غير فعالة مثل الرمل أو البازلت أو الحجر الجيري أو الرمل أو الجرانيت أو خبث الحديد المبرد هواميا .

٣ - جبس يضاف بالنسب العادية كمادة مبطنة للشك .

ويصنع الاسمنت المخلوط بطحن المكونات بعد خلطها جميعاً بالنسب المقررة وذلك في طواحين الاسمنت العادية إلى درجة النعومة المطلوبة . وتفضل هذه الطريقة في حالة المواد المضافة الصلدة نوعاً حيث تساعد هذه المواد على طحن الكلنكر إلى نعومة عالية دون الحاجة إلى طاقة طحن إضافية ، وهذه الطريقة هي المستخدمة حالياً لإنتاج أسمنت الكرتك .

وينتج الاسمنت المخلوط في كثير من الدول من بينها الولايات المتحدة الأمريكية والصين ورومانيا وشيلي والملايو والارجنتين ، ووضعت بعض هذه الدول مواصفات قياسية خاصة بأنواع الاسمنت المخلوط التي قفزتها .

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

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

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

دور عملية الطحن في جودة الأسمنت المخلوط :

يتراوح المقاس الحبيبي للأسمنت العادى بين ٢٠٠ و ٥٠ ميكرون ويكون حوالى ٦٥ ٪ منه أقل من ٣٠ ميكرون وعند خطه بالماء تبدأ تفاعلات الإماهة من سطح الحبيبات إلى داخلها ويتم ذلك تدريجياً بحيث تصل الإماهة إلى عمق ٥،٠ ميكرون بعد يوم واحد و ١،٧ ميكرون بعد ٧ أيام . و ٢،٥ ميكرون بعد ٢٨ يوماً و ٥،٥ ميكرون بعد ٦٠ يوماً حيث تصل نسبة الإماهة في الأسمنت حينئذ حوالى ٦٠ ٪ ويمكن أن تستمر عملية الإماهة تحت ظروف المعالجة الخاصة إلى حوالى ٩٥ - ٩٨ ٪ بعد ١٠ - ١٢ شهراً . ولكن يعود استمرار الإماهة إلى هذا للذى تكون طبقة جيلاتينية غير منفذة تغطى الجزء الداخلى للحبيبات الكبيرة نوعاً والذى يزيد مقاسها على ٣٠ ميكرون . وتبلغ نسبة هذه الحبيبات الكبيرة في الأسمنت البورتلاندى العادى حوالى ٣٥ ٪ بالوزن .

ولما كان الأسمنت المخلوط يصنع بطحن كلنكر أسمنت بورتلاندى عادى مع نسبة من مادة مضادة غير فعالة مثل الرمل وذلك إلى نفس نعومة الأسمنت البورتلاندى أو أكثر (مساحة نوعية السطح ٢٧٠٠ - ٣٥٠٠ سم^٢ / جم) وفى هذه الحالة تساعد المادة المضادة - أثناء عملية الطحن - على أن يتم طحن الكلنكر حتى تصبح معظم حبيباته ذات مقاس أقل من ٣٠ ميكرون بينما تكون معظم الحبيبات الكبيرة نوطاً - والذى يزيد مقاسها على ٣٠ ميكرون - من المادة المضادة إلى الأسمنت المخلوط .

الخواص الطبيعية والكيميائية لاسمنت الكرنك المنتج محلياً وحدود استعماله :

- ١ — نسبة الرمل السيليسى المطحون مع الكنسكر لا تتجاوز ٢٥٪ بالوزن .
- ٢ — يجب أن يطابق أسمنت الكرنك اشتراطات المواصفات القياسية المصرية للاسمنت البورتلاندى الحديدى .
- ٣ — يستخدم الاسمنت المخلوط (كرنك) حالياً فى جميع مجالات استخدام الاسمنت البورتلاندى العادى وبنفس النسب فيما عدا الخرسانة المسلحة .

للمنا : مقارنة تركيب وخواص انواع الاسمنت المختلفة :

يتنا فيما عرضناه فى البنود السابقة ملخصاً سريعاً لأم 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 هذا العرض بعدد من الجداول يمكن من خلالها الوصول إلى مجموعة كبيرة من الاستنتاجات والإلمام بأهم الفروق الرئيسيه بين أنواع الاسمنت المختلفة سواء فى تركيب المواد الخام المستخدمة وطرق الصناعة كما يظهر من الجدول رقم (٢ - ٩) أو فى تركيب الاسمنت الناتج نفسه كما يظهر من الجدول رقم (٢ - ١٠) أو فى الخواص الطبيعية والكيميائية والميكانيكية كما يتضح فى الجدول رقم (٢ - ١١) .

كذلك يتنا فى الجدول رقم (٢ - ١٢ - ١ ، ب ، ح) ملخصاً لخواص بعض أنواع الاسمنت طبقاً للمواصفات القياسية البريطانية والتي تختص بالعمومه وزمن الشك والمقاومة وثبات الحجم والتركيب الكيميائى لنمطى فكرة عن احتياجات العمل الفعلية لكل خاصية من خواص الاسمنت المعروفة ومدى التفاوت فى هذه الاحتياجات .

جدول رقم (٢-٩) مقارنة التركيب الكيميائي لبعض أنواع الاسمنت

نوع الاسمنت				مواد الصناعة	طريقة	التركيب كيميائية (الأكسيدات الرئيسية)			
				الرئيسية	الصناعة	Ca O	Si O ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
بورتلاندى عادى بورتلاندى سريع التصلد بورتلاندى منخفض الحرارة بورتلاندى مقاوم للكبريتات				{ بورتلاندى عادى بورتلاندى سريع التصلد بورتلاندى منخفض الحرارة بورتلاندى مقاوم للكبريتات	تحمق لتحويل إلى كلنكر يطحن	٦٤	٢١	٦	٣
						٦٥	٢١	٥	٣
						٦٢	٢٥	٥	٢
						٦٣	٢١	٤	٦
بورتلاندى خبث الافران العالية				كلنكر أسمنت بورتلاندى مع خبث بنسبة ٣٥٪. كنهاية عظمى	طحن الجير أثناء الطحن	٦٣	٦١	٩	٢
على الالومينا				الحجر الجيري والبيوكسيت	يصهر بالحرارة ثم يطحن	٢٨	٥	٢٨	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 الكيميائي لأنواع الاسمنت البورتلاندى

التركيب كنسبة مئوية			نوع الاسمنت
C ₃ A	C ₃ S	C ₃ S	
٦	٤٥	٢٥	منخفض الحرارة
١١	٣٠	٤٠	عادي
٩	٢١	٥٠	سريع التصلد (سوبر كريت)
٥	٤٠	٤٠	مقاوم للكبريتات

ملحوظة : -

١ - C₃ S = سليكات ثلاثى الكالسيوم .

C₃ S = سليكات ثنائى الكالسيوم .

C₃ A = سليكات ثلاثى الالومنيوم .

٢ - يصاحب الزيادة فى نسبة C₃ S زيادة فى معدل التصلد للاسمنت .

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

نوع الاسمنت	معدل تحسن المقاومة	معدل انبعاث الحرارة	الانكماش بالجفاف	مقاومة التشقق	المقاومة للذبيات الكيميائية
بورتلاندى عادي	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 العاليه	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
عالى الالومينا	عالى جداً	عالى جداً	متوسط	منخفض	عالى جداً
بوزولونى	متخفض	منخفض متوسط	عالى	عالى	عالى

ملخص لخواص بعض أنواع الاسمنت طبقا للواصفات القياسية البريطانية للأسمنت
جدول رقم (٢-١٢) النعومة وزمن الشك

نوع الاسمنت	B.S.S. No.	النعومة		زمن الشك	
		القوى بالوزن كتنقى على منخل رقم (١٧٠)	المغرى بالمساحة النوعية السطحية سم ^٢ /جم	الابتدائي لا يقل عن	النهائي لا يزيد على
بورتلاندى عادى	12/1958	10٪ : (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	10٪ : (B.S. 1947)	٢٢٥٠	٤٥ دقيقة	١٠ ساعات
منخفض الحرارة	1370/1958		٣٢٠٠	٤٥ دقيقة	١٠ ساعات
على الالومينا	912/1958	٨ ٪ : (B.S. 1947)	٢٢٥٠	ساعتان ولا يزيد عن ستة	ساعتان ولا لا بد

جدول رقم (٢-١٢ ب) مقاومة الضغط

نوع الاسمنت	مقاومة الضغط للون (٣:١) (كميات) - كجم/سم ^٢			
	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
على 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 / سم^٢ وذلك لمونة الاسمنت سريع
التصلد المختبرة .

ملحوظة : كل الاسمات تبدى زيادة فى المقاومة مع الزمن .

جدول رقم (٢-١٢) الثبات والتركيب الكيميائي

التركيب الكيميائي (عظمى كنسبة مئوية بالوزن)						نوع الاسمنت	الثبات والتعدد بعد ساعة من الغليان لا يزيد على
الرواسب غير القابلة للذوبان		المنيزيا	الكبريت		الفقد بالحريق		
المنيزيا	الكبريت	المنيزيا	الكبريت	المنيزيا	الكبريت	المنيزيا	الكبريت
١,٥	٤	٢,٥-٣	٠,٠٠٠	٣	٤	حادى وسريع التصلب	١٠ مم
١,٥	٧	٣	١,٥	٣	٤	نخب الافران العالية	٥ مم بعد تهوية
١,٥	٤	٢,٧٥	٠,٠٠٠	٣	٤	منخفض الحرارة	٧ أيام
٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	٠,٠٠٠	على الالومينا	١ مم

تاسعا : الاختبارات الطبيعية والبيكانيكية والتحاليل الكيميائية للاسمنت

(١) نبذة تاريخية عن تطور طرق الاختبار للواد الاسمنتية :

لا يوجد فيما ظهر من مراجع قبل عام ١٧٥٠ إلا القدر اليسير من المعلومات الخاصة بالطرق التي كانت متبعة في اختبار المواد الاسمنتية التي كانت مكونة في هذه الفترة من الجير وحده أو مخلوطاً بمرئبات السليكون والالومنيوم كمشقوق طوب البناء ورماد البراكين .

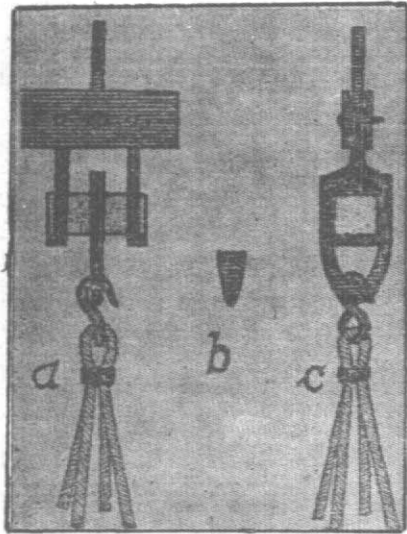
ويرجع الفضل في تطور طرق اختبار الاسمنت الهيدروليكي - أى الذى يشك في الماء - إلى جون سميتون أحد أئمة المهندسين المدنيين الانجليز حوالى عام ١٧٥٦ .

وكان سميتون يختبر قيمة المونة أو المادة الاسمنتية المختلفة التى لديه بمجتها على شكل كرة قطرها ٥ سم ثم يضع مجموعة من هذه الكرات في الماء . ويقدر خواصها الهيدروليكية وصلاحياتها لأعمال البناء بمدى صلابتها وما تأتى به من نتائج في هذا الوسط . وقد تمكن بفضل تلك الاختبارات البدائية من تقدير صلاحية المزيج المكون من مشقوق جير مائى ومن مركب سليكونى والذى استعمله في بناء فارد إيدى ستون (Eddy Stone) .

من ذلك نجد أن الاختبارات الأولى الخاصة بالاسمنت الهيدروليكي كانت

موجبة نحو تقدير ثباتها في 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) السويدي نشر عام ١٧٧٢ ماحصل عليه من نتائج بعد إجراء سلسلة من اختبارات الانحناء على عينات من مونة الجير المائي المكونة من خليط من الاردواز (Slate) والطفل المحروق (Burned Clay) والجير (Lime) وكانت تنحصر طريقة الاختبار في ارتكاز العينة عند الطرفين وتحميلها في الوسط . كما ذكر أيضاً أن سيسارت (Cessart) قام بإجراء تجارب مماثلة عام ١٧٨٧ على عينات إخرسانية أبعادها $10 \times 10 \times 10$ سم .

كذلك قام الجنرال تروسارت G. L. Treussart ، أحد مهندسي السلاح الملكي الفرنسي بعدة تجارب انحناء فيما بين ١٨١٦ و ١٨٢٥ إذ استعمل عينات مساحة مقطعها $21,25$ سم^٢ (٥ بوصات مربعة) عملة في اوسط وتركز على ركيزتين بينهما ١٠ سنتيمترات والجدير بالذكر أن هذه العينات لم تكن تصب في قوالب بل كانت تقطع من كتل صلبة كبيرة . وبين شكل رقم (٢-٣٤) طريقة تروسارت العامة لعمل اختبارات الانحناء للمنشورات من المونة :



شكل رقم (٢-٣٤)
اختبارات الانحناء للمنشورات من المونة

ولقد وصف فيكات (Yicat)

فيما بين عام ١٨١٨ وعام ١٨٢٨ في أبحاثه طريقة الخاصة لتقدير مدى شك الاسمنت الجيري وكان يشغل منصب كبير مهندسي الطرق والكباري لفرنسا . وتتلخص هذه الطريقة في خلط الجير بالماء أولاً باستعمال ملوق (Spatula) ثم باستعمال مدقة (Pestle) بغرض الحصول على عجينة غليظة القوام كتلك التي تستعمل في صنع الفخار ثم توضع هذه العجينة في إناء زجاجي أو من الفخار غير المسامي

يزيد إرتفاعه عن عرضه بمقدار $\frac{1}{4}$ أو $\frac{1}{3}$ العرض ثم يحرك الإناء براحة اليد إلى أن تهبط العجينة وتنتشر في الإناء ثم يوضع هذا الإناء في ماء نقي ، ويختبر من آن لآخر لتقدير الصلادة (Hardness) ومعرفة مدى ما وصلت إليه عملية الشك .

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

وكان فيكات يسقط لإبرة من الصلب ذات طرف دائري قطره ١٦٦,٠ سم (٠,٠٦٥٣) من على بعد مسافة ٥ سم (١,٩٧) وهي محملة بكتلة وزنها ٩٩٦١ و ٠ كجم لتأكد من صلادة الخليط المستعمل وكان يستعمل في أحيان أخرى مثقابا كالمستعمل لقياس صلادة الاحجار بدلا من لإبرة الصلب وكان معيار الصلادة للبادء هو مدى اختراق طرف هذا المثقاب في الخليط بعد عدد معين من اللفات ،

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

في نفس الوقت تقريباً قام الجنرال د باسلى ، أحد مهندسى السلاح الملكى البريطانى بوصف مجموعة من طرق الاختبار المختلفة التى استعملها في أبحاثه على المواد الجيرية والاسمنت الجبرى عام ١٨٢٦ .

ولقد اتبع د باسلى ، نفس طريقة " سميتون " في وضع كرات من الاسمنت النقي في 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 جبرى — يجهز للاستعمال بخلطه بالماء ولا يتفكك عند حرقة ولا ينفثخ أو يفتت المسحوق المحروق منه بعد عجنه على هيئة كرات سواء كان ذلك في الهواء أو في إناء مملوء بالماء ، ولكن يشك ويتصلد دون تغيير يذكر في حجمه ، بل وفي زمن أقل بكثير من الذى يتطلبه الجبر في الهواء .

ولقد كانت إحدى الطرق التى استعملها باسلى في إختباراته لأنواع الاسمنت المختلفة في عامى ١٨٣٠ ، ١٨٣١ تلخص في تثبيت عدد من قوالب الطوب على حائط رأسى

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

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

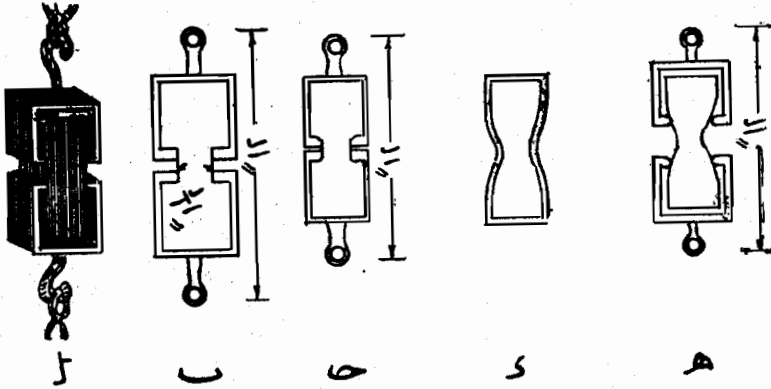
وقد لجأ بأسلى إلى طرق أخرى للحصول على مقاومة الاسمنت (Strength) إذ كان يقوم ببلق طوبتين أو حجرين أملسين بأبعاد مناسبة بواسطة عجينة من الاسمنت النقي أو المونة المكونة بنسبة ١:١ ثم يضع الوزن اللازم لفصل الاثنين عن بعضها. ومن الواضح أن هذا النوع من الاختبارات كان يده الطريق للكشف عن اختبارات الشد على قوالب الاسمنت ولقد استعمل بأسلى نفس طريقة تروسارت في الحصول على مقاومة الانحناء لأحجار أبعادها $2 \times 2 \times 4$.

وقد أجريت في فرنسا عام ١٨٤٨ اختبارات شد على عينات مساحة مقطعيها عند العنق (Reduced section) $6,7$ سم $(2,25$ بوصة $2)$ ، ثم انتشر الاختبار على القوالب حوالي عام ١٨٥٠ إلى أن كان اختبار الشد عام ١٨٦٠ الذي حل محل معظم أنواع الاختبارات الأخرى وفي نفس العام بدأ في ألمانيا استخدام القوالب ذات المقطع $1 \times 1 \frac{1}{2}$ بوصة.

ولقد ذكر ريد جريف (Redgrave) أن أحد مهندسي الكبارى في فرنسا قام بأول مجموعة من الاختبارات المنتظمة على الاسمنت البورتلاندى الذي استعمل على نطاق واسع بين عام ١٨٤٠ وعام ١٨٥٠.

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

وكان جرانت أول من استعمل اختبار الشد بشكله المعروف وذلك في عام ١٨٥٩ واستعمل طرازاً من الإطارات والمقايض المبينة بالشكل رقم (٢-٣٥) ويرجع



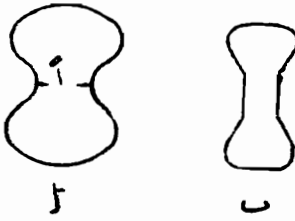
شكل رقم (٢-٣٥) مقايض وإطارات اختبار الشد في عام ١٨٥٩

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

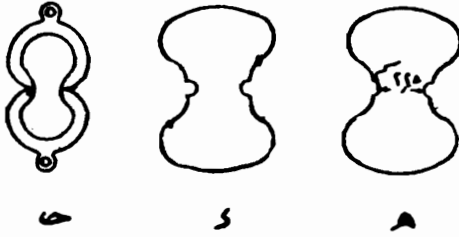
وكانت مساحة القالب عند العنق $2\frac{1}{4}$ بوصة مربعة وروعى عند صنع القوالب ألا تحتوى على تلك الكمية من المياه التي تؤدي إلى أن تكون عجينة الاسمنت غليظة القوام إذ وجد أنه كلما قلت كمية المياه المستعملة في عجن الاسمنت كان ذلك أفضل وقد تم اختبار القوالب في نوع معين من المسكنات قوامها الضواغط الهيدروليكية ولقد لجأ جرانت - لكثرة الصعوبات التي صادفته - إلى استعمال أشكال مختلفة من القوالب للحصول على نتائج أكثر وضوحاً وانتظاماً ، وقد استقر الرأي بعد تجارب عديدة على النوع المبين في الشكل رقم (٢-٣٥) وهو الذي أوصت باستخدامه بعد ذلك الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين سنة ١٨٨٥ .

وطبقاً للنتائج التي حصل عليها متجو الاسمنت البورتلاندى بإنجلترا بعد إجراء عدد من الاختبارات أضاف جرانت الفقرة التالية إلى المواصفات الخاصة بإنشاء شبكة المجارى المكلف بالقيام بها عام ١٨٥٩ :

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



وقادرة على تحمل (حل الكسر) ٤٠٠ باوند على مساحة $1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4}$ بوصة (٢,٢٥ بوصة مربعة) بعد ٧ أيام بعد الصب وذلك في قالب حديدي يوضع في الماء لمدة ٦ أيام،



شكل رقم (٢-٣٦)

ولقد أعطى جرانت أهمية عظيمة للوزن النوعي للأسمنت ووجد أن الانواع ذات الوزن النوعي الكبير ذات خواص أفضل من تلك ذات الوزن النوعي الصغير . وأوضح أن الاسمنت بطيء الشك يعطى مقاومة

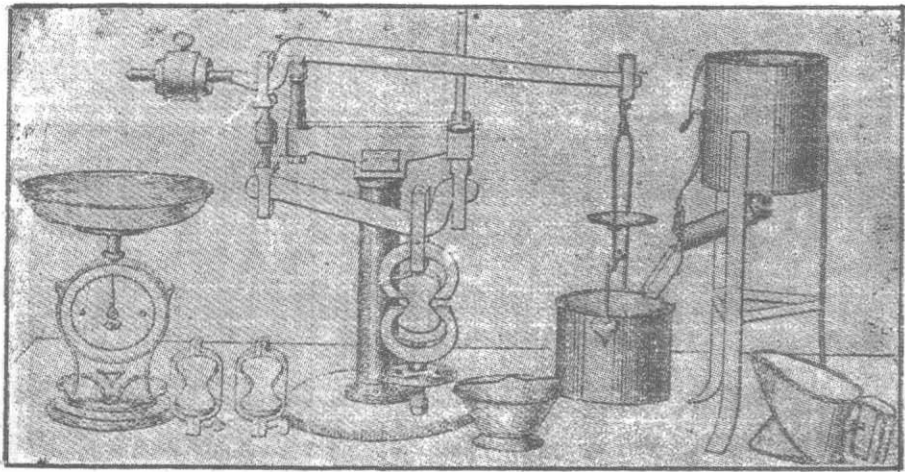
قوالب الشد للجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين

أكبر من مثيله سريع الشك ، كما أشار في بحثه الذي ظهر سنة ١٧٨٠ إلى استعمال كمكبات أو أسطوانات من الاسمنت ذات قطر يتراوح بين ٢ ، ٢ بوصة وسلك حوالى $1\frac{1}{4}$ بوصة وأطراف رفيعة للحصول على زمن الشك والثبات الحجمي فكان يقوم بعمل كمكبات من الاسمنت ، ويحتسب الزمن بالمعاقب الذي تصبح فيه قادرة على تحمل الضغط الواقع من الظفر ، ثم يتخذ ذلك كميّار وعندما تصل الكمكبات إلى درجة كافية من الصلابة كانت توضع إحداها في الماء وتراقب يوميا لمعرفة مدى التشقق أو الإوجاج الذي قد يحدث بها . أما الأخرى فتترك في الهواء لمعرفة مدى تغير لونها .

وقد أوصت اللجنة التي شكلت لدراسة طرق الاختبار على الاسمنت والمنبثقة من الجمعية الأمريكية للمهندسين المدنيين (A. S. C. E.) في تقريرها عام ١٨٨٥ بإجراء اختبارات مماثلة لنفس الغرض .

ومما لاشك فيه أن أبحاث جرانت الكثيرة وإختباراته العديدة كان لها أبعاد الأثر في طرق الاختبار والفحص للأسمنت البورتلاندى في كثير من البلاد المتبعة له .

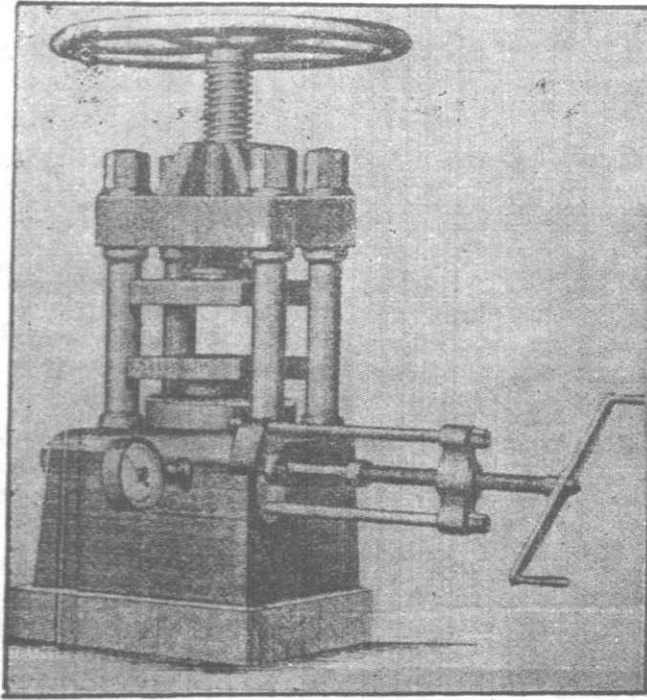
ومن الجدير بالذكر أن أول آلة لإجراء اختبارات الشد لم تفتح إلا في غضون عام ١٨٧٥ شكل رقم (٢ - ٣٧) ومازال طراز هذه الآلة يستعمل للآن ولكن بصورة معدلة إلا أن لإختبار الشد قد أثبت جدارة وكفاية وصلاحيه منذ عام ١٨٦٠ .



شكل رقم (٢-٣٧) آلة اختبار المد لمونة الأسمنت عام ١٨٧٥

ولذلك نجد أن جميع الأنواع الأخرى من الاختبارات قد قلت أو كادت تختفي فيها في الناحية الأخرى نجد أن اختبار الضغط لم يخطو أى خطوات مماثلة لاختبار الشد على الرغم من ظهورهما في وقت واحد . ولا يرجع السبب في ذلك إلى عدم تفهم قيمة هذا الاختبار بل إلى الصعوبات التي كان يصادفها الباحثون عند إجراء هذا الاختبار .

ولم يأت ذكر اختبار الضغط في أول مواصفات ظهرت خاصة بالأسمنت البورتلاندى ، فقد كان ثمن الضواغط الهيدروليكية باهظاً ولقد ذكر ميخائيليدس أنه لم يوجد سوى ثلاثة من تلك الضواغط في أوروبا كلها عام ١٨٧٥ شكل (٢-٣٨) ولكن كان لديه نوع آخر من الضواغط تصل قدرتها إلى ٦,٠٠٠ كجم وهى أقل قدرة من الأولى . وكان يستعمل في أول الأمر عينات أبعادها $10 \times 10 \times 6$ سم ثم مكعبات $10 \times 10 \times 10$ سم وأخيراً مكعبات $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ سم إذ أن استعمال مكعبات مساحة مقطعها 10×10 سم كان يتخطى قدرة المكنة وقد عُمِّمَ فيما بعد استعمال المكعب $7,07$ سم في جميع أنحاء أوروبا لإجراء اختبارات الضغط ، حتى أنه نسب إلى هيجر في عام ١٩٢٧ ما ذكره من أن اختبارات الضغط على مكعبات $7,07$ سم أصبحت في المرتبة الثانية بعد الاختبارات الشد وقبل اختبارات الانحناء التي جاءت في المرتبة الثالثة . والجدير بالذكر أن اختبارات الضغط والانحناء هما الاختباران الوحيدان اللذان جاء ذكرهما في آخر المواصفات الألمانية عام ١٩٤٢



شكل رقم (٢ - ٣٨) مضغط هيدروليكي عام ١٨٧٥ لاختبار الضغط للأسمنت الخاصة بالأسمنت البورتلاندى العادى والجارى استعمالها إلى الآن لمعركة طرق الاختبارات القياسية .

وبدأت بعد ذلك الهيئات والمنظمات العالمية في إصدار المواصفات الخاصة بها كما بدأت كل دولة تحدد احتياجاتها من الاختبارات القياسية وكان أبرزها مجموعة العراصات والأبحاث التي قامت بها الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد (A.S.T.M) والتي كانت نقيجتها وضع مواصفات للأسمنت البورتلاندى والأنواع الأخرى من الأسمنت وكذلك اشتملت هذه المواصفات على معلومات خاصة بالبائع والمشتري والعينات وكذلك على طرق الاختبار القياسية .

وفىما يلي نص لطرق الاختبارات القياسية التي نصت عليها المواصفات القياسية المصرية (م . ق ٣٧٣ / ١٩٦٣) وذلك لتحديد خواص الأسمنت المختلفة ومدى التغير الذى أجازته هذه المواصفات في تلك الخواص والتي تشمل النعومة وزمن الشك الابتدائى والنهائى وثبات الحجم ومقاومة الضغط والشد .

(ب) المواصفات القياسية رقم ٣٦٣/١٩٦٣

الاسمنت البورتلاندى العادى والاسمنت البورتلاندى سريع التصلد :

المجال :

تختص هذه المواصفات القياسية بالاسمنت البورتلاندى من النوعين الآتين :

١ - الاسمنت البورتلاندى العادى .

٢ - الاسمنت البورتلاندى سريع التصلد : وهو الاسمنت مبكر القوة ويعرف

عليها باسم أسمنت سور كريت .

كما تشمل هذه المواصفات القياسية على الخواص الطبيعية والميكانيكية والكيميائية التى تحدد صلاحية الاسمنت البورتلاندى للاعمال الإنشائية وتتضمن كذلك طرق إجراء الاختبارات الطبيعية والميكانيكية ، أما طرق إجراء الاختبارات الكيميائية فتتبع فى إجراءاتها الطرق القياسية المنصوص عليها فى المواصفات القياسية لتحليل الكيمايى للأسمنت المعتمدة من الهيئة المصرية للتوحيد القياسى .

التعاريف :

الاسمنت البورتلاندى العادى أو الاسمنت البورتلاندى سريع التصلد هو المادة 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 كلبها على أن يكون الاسمنت للنتائج مطابقا لهذه المواصفات القياسية .

الاختبارات :

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

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

٤ - المقاومة (القوة) . ٥ - التركيب الكيمايى .

على أن تجرى هذه الاختبارات طبقا للطرق القياسية .

الخواص :

١ - النعومة :

(١) لا تزيد قيمة المحجوز على المنخل القياسي ٠.٩ مم على ما يأتي :

١٠٪ بالوزن للأسمنت البورتلاندى العادى .

٥٪ " " " " " سريع التصلد ،

وذلك عند إجراء اختبار النعومة بطريقة المنخل .

(ب) لا تقل المساحة النوعية للسطح عما يأتي :

٢٢٥٠ سم^٢ / جرام للأسمنت البورتلاندى العادى .

وذلك عند إجراء اختبار النعومة بطريقة د بلين ، لتعيين للمساحة النوعية للسطح .

٢ - زمن الشك .

لا يقل زمن الشك الابتدائى للأسمنت البورتلاندى العادى أو الأسمنت البورتلاندى

سريع التصلد عن ٥٤ دقيقة ولا يزيد زمن الشك الثانى لها على عرشايات وذلك عند

إجراء الاختبار على عجينة الأسمنت الخالص ذات القوام القياسى .

٣ - ثبات الحجم :

لا يزيد تمدد الأسمنت البورتلاندى العادى أو الأسمنت البورتلاندى سريع التصلد

على ١٠ ملليمتر وذلك عند إجراء الاختبار على عجينة الأسمنت الخالص ذات القوام

القياسى .

وفى حالة عدم مطابقة الأسمنت لهذا الشرط يعاد اختبار ثبات الحجم على عينة من

نفس الأسمنت بعد تهويته لمدة سبعة أيام وذلك بفرشه بارتفاع ٧٥ ملليمتر تقريباً على

سطح جاف فى جو رطوبته النسبية ٥٠ - ٨٠٪ وفى هذه الحالة لا يزيد تمدد الأسمنت

على ٥ مم .

٤ - المقاومة (القوة) :

أولاً : مقاومة الضغط لمونة الأسمنت :

لا يقل متوسط مقاومة الضغط لثلاثة مكعبات من مونة الأسمنت عما يأتي :

(١) الأسمنت البورتلاندى العادى :

تكون مقاومة الضغط بعد ٣ أيام (٧٢± ساعة واحدة) ١٦٠ كجم/سم^٢ على الأقل .

وتكون مقاومة الضغط بعد ٧ أيام ($168 \pm$ ساعتان) ٢٤٠ كجم/سم^٢ على الأقل . ويجب أن تكون أكبر من مقاومة الضغط بعد ٣ أيام .

(ب) الاسمنت البورتلاندى سريع التصلد:

تكون مقاومة الضغط بعد ٣ أيام ($72 \pm$ ساعة واحدة) ٢١٠ كجم / سم^٢ على الأقل .

وتكون مقاومة الضغط بعد ٧ أيام ($168 \pm$ ساعتان) ٢٨٥ كجم / سم^٢ على الأقل ويجب أن تكون أكبر من مقاومة الضغط بعد ٣ أيام .

ثانياً — مقاومة الشد لمونة الاسمنت :

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

وفي هذه الحالة لا يقل متوسط مقاومة الشد لسته قوالب بعد مرور ٢٤ ساعة عن ٢١ كجم / سم^٢ .

٥ — التركيب الكيميائي :

(١) معامل تشبع الجير :

لا يريو معامل تشبع الجير على ١,٠٢ ولا يقل عن ٠,٦٦ . وذلك طبقاً للقيم المحسوبة من المعادلات الآتية :

$$\text{معامل تشبع الجير} = \frac{\text{أكسيد الكالسيوم} - ٠,٧ \cdot \text{ثالث أكسيد الكبريت}}{٢,٨ + \text{ثاني أكسيد السليكون} + ١,٢ \cdot \text{أكسيد الألومنيوم (أومينا)}} + ٠,٦٥ \cdot \text{أكسيد الحديد}$$

حيث تقدر قيمة الأكسيد المبينة في المعادلة الكيميائية السالفة كنسبة مئوية من وزن عينة الاسمنت . ولا تشمل هذه القيمة ما هو موجود من الأكسيد بالمواد المتبقية غير القابلة للذوبان .

(ب) المواد المتبقية غير القابلة للذوبان :

لا تزيد المواد المتبقية غير القابلة للذوبان على ١,٥ ٪ بالوزن .

(ج) المغنيزيا (أكسيد المغنسيوم) :

لا تزيد المغنيزيا التي يحتوى عليها الاسمنت على ٤ ٪ بالوزن .

(د) نسبة الألومينا إلى أكسيد الحديد :
 لا تقل نسبة الألومينا إلى أكسيد الحديد عن ٠,٦٦ .

(هـ) ثالك أكسيد الكبريت :

لا تزيد النسبة المئوية الكلية للكبريت في الاسمنت بالوزن مقدرة على هيئة ثالك أكسيد الكبريت على ما يأتي :

ألومينات ثلاثي الكالسيوم النسبة المئوية بالوزن	الحد الأقصى لثالك أكسيد الكبريت (النسبة المئوية بالوزن)
٧ وأقل أكثر من ٧	٢,٥ ٣

وتحسب كمية ألومينات ثلاثي الكالسيوم من المعادلة الآتية :

ألومينات ثلاثي الكالسيوم = ٢,٦٥ أكسيد الألومنيوم - ١,٦٩ أكسيد الحديد

(و) أكسيد الكالسيوم الطليق (الحر) :

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

(ز) الفقد بالحرق :

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

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

أخذ العينات :

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

شهادة منتج الاسمنت :

يجب أن يتأكد المنتج من أن الاسمنت يطابق هذه المواصفات القياسية عند توريده ، وعليه أن يقدم للسبيلك 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 المشتري أو مندوبه فى إجراء اختبارات فتؤخذ العينات بمعرفة المشتري 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 والمشتري يورد الاسمنت فى عبوات (شكاير) تحوى كل منها ٥٠ كجم من الاسمنت ، ويبين على كل عبوة (شكاره) نوع الاسمنت 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 الاسمنت . يراعى فى حالة الاسمنت الموجود بالصوامع أن تؤخذ العينات الفرعية أثناء الملء أو التفريغ أما فى حالة الاسمنت المعبأ بالشكاير فتؤخذ العينات الفرعية من ست شكاير . وإذا قل عدد الشكاير عن ستة فتؤخذ عينة فرعية من كل شكاره وتخلط مع بعضها البعض لتكون عينة الاختبار .

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

٢ - اختبار النعومة :

تعين نعومة الاسمنت بإحدى الطريقتين الآتيتين :

(١) طريقة النخل :

ينخل ١٠٠ جرام من الاسمنت 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 الاسمنت المحبوز على المنخل لاقرب ٠,١ جرام .

الطريقة :

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

(١) 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 $(\pm \frac{1}{4}$ دقيقة) ومدة الخلط هى الزمن المحصور بين بدء إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف حتى بدء ملء قالب جهاز فيكات بعجينة الاسمنت .

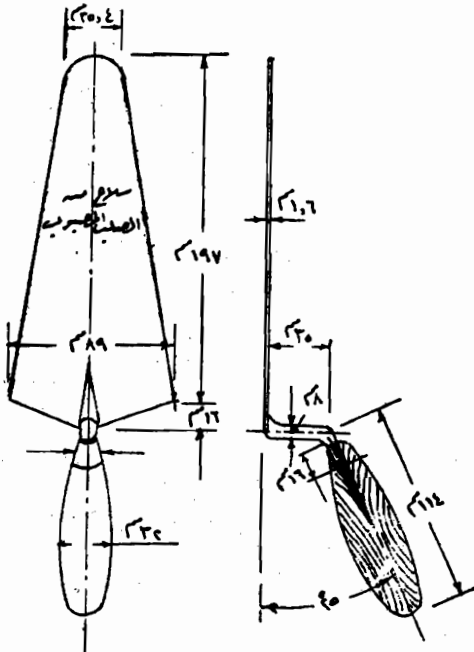
(ب) يملأ قالب فيكات (ق) المرتكز على لوح مستو غير مسامى ، ملتصقا ،

ودفعة واحدة 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) .

(ج) توضع عجينة الاختبار داخل قالب فيكات والمرتكز على اللوح المستوى غير المسامى (د) تحت الضغط 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 .



سطرين الخلط القياسى

زنته ١٢٠ جم

شكل رقم (٢-٤٠)

ويراعى أن تتم هذه العملية بعد ملء قالب فيكات مباشرة .

(د) يحدد مقدار نفاذ الطرف الاسطواني في عجينة الاسمنت بتعيين المسافة بينه وبين قاع قالب فيكات بواسطة التدرج الموجود بالجهاز .

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

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

٤ — اختبار زمن الشك الابتدائى وزمن الشك النهائى :

التعريف :

(١) زمن الشك الابتدائى : هو الفترة التي تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف ولحظة نفاذ إبرة جهاز فيكات في عجينة الاسمنت إلى مسافة لا تزيد على ٥ مم تقريباً من قاع قالب فيكات .

زمن الشك النهائى : هو الفترة التي تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف والحظة التي تترك إبرة جهاز فيكات آتراً بعجينة الاسمنت بينما لا يظهر الاثر العائرج لجزء المثبت حول الإبرة .

الجهاز :

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

الطريقة :

(١) تحضر كمية من الاسمنت وزنها ٤٠٠ جرام ، ثم تضاف إليها كمية الماء اللازمة لجعلها عجينة ذات قوام قياسى وهى الكمية التي نحصل عليها من الاختبار رقم (٣) ، الذي 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 هي الفترة التي تمر بين بدء إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف حتى بدء ملء قالب جهاز فيكات بالمعجينة الاسمنتية .

(ب) يملأ قالب فيكات المرتكز على لوح مستو غير مسامي ملئاً تاماً ودفعاً واحدة بمعجينة الاسمنت السابق تحضيرها ثم يسوى سطح المعجينة مع حافة القالب بمرعة .

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

(ح) 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 المعجينة بالقالب وتترك الإبرة حرة لتنفذ في المعجينة تحت تأثير الوزن الكلى للقضيب والابرة معا (٣٠٠ جم) .

(و) تكرر عملية نفاذ الابرة بالمعجينة في مواضع مختلفة إلى أن تنفذ الابرة إلى مسافة لا تزيد على ٥ مم تقريباً من قاع قالب فيكات (ق) .

وبذلك يكون زمن الشك الابتدائى هو الفترة التي تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف ولحظة نفاذ ابرة جهاز فيكات في عجينة الاسمنت لمسافة لا تزيد على ٥ مم تقريباً من قالب فيكات .

(هـ) تستبدل الابرة (ب) بالطرف الآخر (ح) ، ثم يدلى القضيب ببطء حتى يمس الطرف (ج) سطح المعجينة ويترك حراً لينفذ في المعجينة تحت تأثير الوزن الكلى للقضيب والابرة معا

(و) تكرر عملية نفاذ الجزء (ج) في مواضع مختلفة من سطح المعجينة إلى أن تتحرك الابرة أثراً بالمعجينة بينما لا يظهر الاثر الدائرى للجزء المثبت حول الابرة .

وبذلك يكون زمن الشك النهائى هو الفترة التي تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف واللحظة التي تترك ابرة جهاز فيكات أثراً بمعجينة الاسمنت بينما لا يظهر الاثر الدائرى للجزء المثبت حول الابرة .

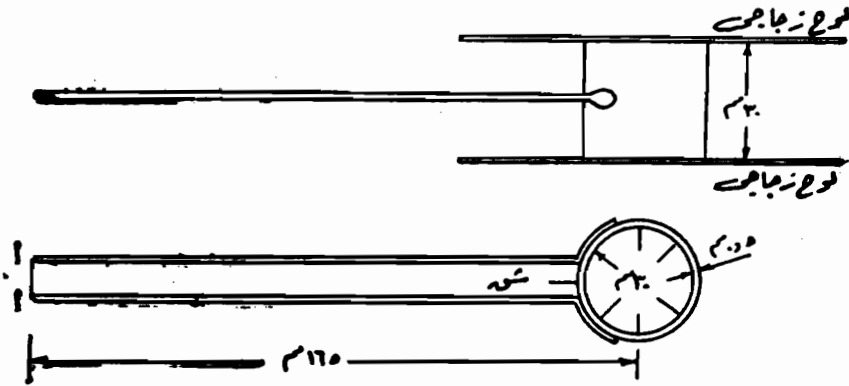
ويمكن استخدام السطح الأسفل لمعجينة الاسمنت إذا تسكون (زبد) على سطح المعجينة عند تعيين زمن الشك النهائى .

٥ - اختبار قبات الحجم :

يبين هذا الاختبار طريقة تعيين ثبات حجم الاسمنت بطريقة د لوشاتليه ،
القياس المحدد .

الجهاز :

يستخدم جهاز د لوشاتليه ، المبين بالشكل رقم (٢-٤١) ويراعى أن يكون
قالب الجهاز بحالة جيدة بحيث لا تزيد المسافة بين شقي قالب (هـ) على ٠,٥٠ مم .



جهاز لوشاتليه - يتكون من اسطوانة بواحدة على امتداد
طولها درجته من النحاس الأصفر الياقوت أدنى معدة آفر مناسيب ويمكنه
على كل من جانبيه شق الاسطوانة مؤخر ميبس .

شكل رقم (٢-٤١)

الطريقة :

(١) تحضير كمية من الاسمنت وزنها ٦٠٠ جرام تقريبا (وهي الكمية اللازمة
لعمل عجينة تملأ ٦ عينات من قوالب د لوشاتليه ،) وتضاف إليها كمية الماء اللازمة
لجعلها عجينة ذات قوام قياسى وهي الكمية التي تحدد من الاختبار رقم (٢) . والذي
يجب أن يجرى قبل الاختبار مباشرة وتحت نفس ظروف درجة الحرارة والرطوبة
وتجرى عملية الخلط جيدا بحيث تكون مدة الخلط 4 ± 1 دقيقة) .

(ب) يوضع قالب د لوشاتليه ، على لوح صغير من الزجاج ويملا بعجينة الاسمنت
ذات القوام القياسى السابق تجهيزها مع مراعاة حفظ شقي القالب منطبقين على بعضهما

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

(ج) يغمر القالب بلوحيه مع الثقل بعد ذلك مباشرة في ماء درجة حرارته $20 \pm$ م (درجة واحدة مئوية) ويترك لمدة ٢٤ ساعة .

(د) يرفع بعد ذلك القالب من الماء وتقاس المسافة (أأ) بين طرفي مؤشري القالب الموضحة بالشكل رقم (٣) .

(هـ) تغمر القوالب مرة ثانية في ماء درجة حرارته $20 \pm$ م (درجة واحدة مئوية) وترفع درجة حرارة الماء تدريجياً إلى أن تصل إلى درجة الغليان في مدة تتراوح بين ٢٥ ، ٣٠ دقيقة وتترك القوالب في الماء مع استمرار الغليان لمدة ساعة .

(و) ترفع القوالب من الماء وتترك لتبرد ، ثم تقاس للمسافة (أأ) بين طرفي مؤشري القالب ثانياً .

(ز) يحسب الفرق بين قراءتي المسافة (أأ) السابق ذكرها في الخطوتين ٤ ، ٦ فيكون ذلك الفرق معبراً عن تمدد الاسمنت .

٦ — اختبار مقاومة الضغط :

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

الاجزءة :

١ — مكنة الاهتزاز :

ويجب أن تتوافر فيها الشروط الآتية .

(أ) أن يكون وزن جزء المكنة المرتكز على بليات الاهتزاز بما في ذلك وزن قالب الاختبار والدليل ٣٠ كيلو جراماً تقريباً .

(ب) أن تكون سرعة اهتزاز المكنة تساوي $12000 (\pm 400)$ هزة في الدقيقة .

٢ — قوالب الاختبار :

يكون قالب الاختبار مكعباً طول ضلعه الداخلي $7,06 (\pm 125)$ سم لتكون

مساحة كل وجه من أوجهه ٥٠ سم^٢ وتكون جميع زوايا المكعب ٩٠° (± ١/٢) درجة ، كما يكون القالب من معدن لا يتأثر بالاسمنت وتكون أسطحه مستوية ومتوازية . ويكون متين الصنع بحيث تكون أجزاؤه ملتصقة تماما عند تجميعها أثناء عملية ملئه أو رفعه وهو مملوء من مكبة الاهتزاز حتى لا يصيب عينة الاختبار أى ضرر . ويجب ان يزود قالب الاختبار بقاعدة من لوح معدني مستوي السطح تمام مع مراعاة أن تكون أبعاده بحيث تسمح بارتكاز قالب الاختبار عليه دون حدوث أى تسرب أثناء عملية ملء القالب .

الرمل القياسي :

يشترط في الرمل القياسي الذي يستعمل في هذا الاختبار ما يأتي .

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

(ب) أن يفضل جيداً ويخفف .

(ج) ألا يزيد الفقد في الوزن بعد معالجة الرمل بمحضر الهيدروكلوريك الساخن

على ٢٥٪ .

(د) أن يمر جميعه من المنخل القياسي ٠,٨٥ مم ولا يزيد المار منه من المتخلل

للقياسي ٠,٦ مم على ١٠٪ بالوزن .

الطريقة :

(١) تحضير الكميات اللازمة لعمل ٦ مكعبات من مونة أسمنتية (كل مكعب على

حدة) بنسبة جزء واحد من الاسمنت إلى ثلاثة أجزاء من الرمل (بالوزن) وفيما يلي

الأوزان اللازمة لتحضير مكعب واحد من مكعبات الاختبار .

أسمنت = ١٨٥ جم .

رمل قياس = ٥٥٥ جم .

ماء = ٧٤ سم^٣ (أى ١٠٪ من وزن الاسمنت والرمل معاً) .

(ب) تنطى وصلات قالب الاختبار وأحرف اتصال الجوانب بالقاعدة بطبقة

رقيقة من جيلاتينة البترول وذلك لمنع تسرب الماء أثناء اهتزاز القالب كما تنطى جميع

الأوجه الداخلية للقالب بعد تجميعها بطبقة رقيقة من الزيت الخفيف .

(ج) يخلط الاسمنت مع الرمل الجاف بالمسطرين على سطح مستو غير مسامى 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 في حدود ١٨ - ٢٤ درجة مئوية .

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

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

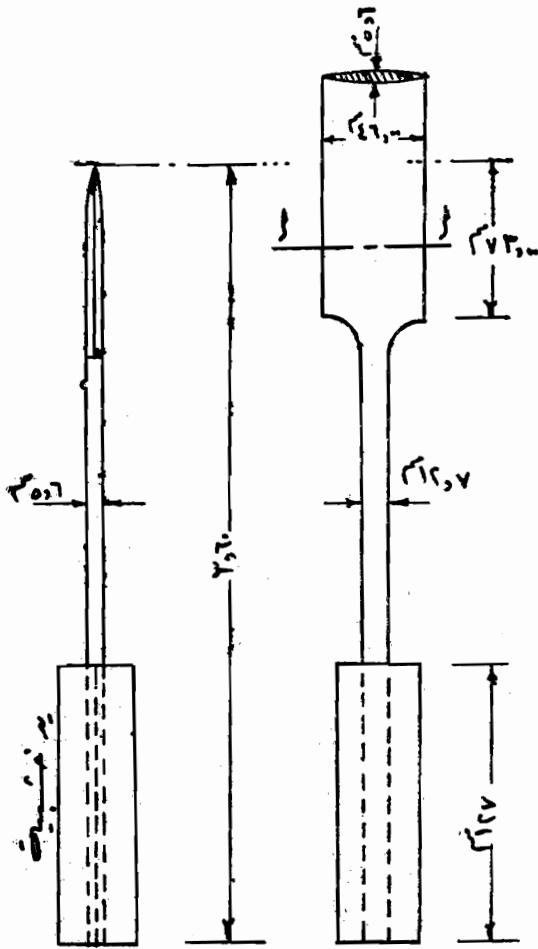
(و) يرفع القالب من مكنة الاهتزاز ويوضع في جو رطوبته النسبية ٩٠ ٪ على الأقل ودرجة حرارته ٢٠ ($\pm$ درجة واحدة) مئوية لمدة ٢٤ (± ٣ ساعة) ويراعى أثناء هذه المدة تغطية سطح القالب بلوح مستو غير مسامى (مثل الحديد أو المطاط) لمنع تبخر الماء .

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

(ظ) ترفع المكعبات من الماء عند موعد اختبارها وتمسح أسطحها لإزالة ما بها من الماء السطحي وأي بروزات سطحية بسيطة ; وتختبر مباشرة ثلاثة مكعبات وهي 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 في مكنة الاختبار على ألا يستعمل السطح غير الملامس لواجهة القالب كما لا يوضع أى شيء بين سطحي مكنة الاختبار بخلاف ألواح من الصلب الصلب .

ويجب أن يرتكز أحد سطحي مكنة الاختبار على مرتكز كروى (بلية) لضبط عملية التحميل تلقائياً ، ويراعى أن يكون التحميل من الصفر ويزداد تدريجياً وبانظام بمعدل قدره ٣٥٠ كجم / سم^٢ في الدقيقة .



شكل رقم (٢-٤٣)
المضرب القياسي للتحليل في اختبار الشد لونة الأسمنت

واحد بالوزن من الاسمنت إلى
ثلاثة أجزاء بالوزن من الرمل
القياسي المبين بالاختبار رقم ٦
(ب) يعد قالب الاختبار
يربط جزأيه، ووضعه مرتكزاً
على القاعدة ، وتغطيه أوجهه
الداخلية والقاعده بطبقة رقيقة
من الزيت الخفيف .

(ج) يخلط الاسمنت مع
الرمل الجاف بالمسطرين على
سطح مستو غير مسامى لمدة
دقيقة واحدة ثم يضاف الماء
بنسبة ٨٪ من مجموع وزني
الاسمنت والرمل الجاف ويخلط
المونة خلطاً جيد المدة أربع
دقائق . ويراعى أن تكون
أجهزة الخلط نظيفة وأن تكون
درجة حرارة الاسمنت والمومل
والماء وحرارة الغرفة في حدود
١٨ - ٢٤ درجة مئوية .

(د) توضع المونة بعد خلطها مباشرة في 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 في الضرب سوى السطح المسطح من المضرب .

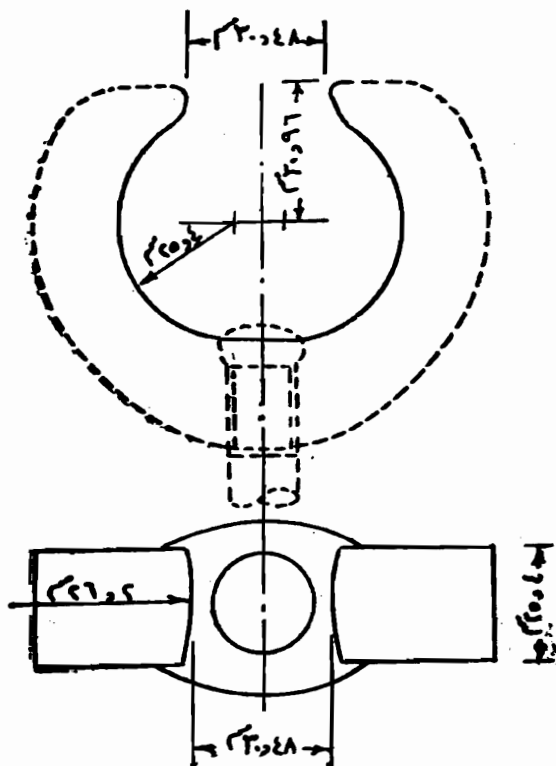
(هـ) تحفظ القوالب في جو لا تقل رطوبته النسبية عن ٩٠٪ ودرجة حرارته ٢٠°م

($\pm$ درجة واحدة مئوية) لمدة ٢٤ (± 1 ساعة) محسوبة من نهاية الخلط ثم ترفع حلويات مونة الأسمنت من قوالب الاختبار لتختبر مباشرة وهي لا تزال رطبة .

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

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

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



شكل رقم (٢-٤٤) مقبض قالب اختبار الشد فى مكينة الاختبار

(ج) الطرق القياسية لتحليل الكيمياء للأسمنت البورتلاندى

الجمال :

تختص هذه المواصفات بالطرق القياسية للاختبارات الكيميائية للأسمنت البورتلاندى .

تجهيز العينات :

يجب مراعاة الشروط الآتية عند اختيار العينات للاختبار :

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

٢ - في حالة الأسمنت المعبأ في عبوات :

يراعى الا تمثّل العينة الواحدة أكثر من ١٠٠ طن من الرسالة الواحدة ذات الصنف الواحد والواردة من مصدر واحد ، وذلك ما لم يتفق على غير ذلك بين البائع والمشتري .

يختار - حيثما اتفق - عدد من العبوات بواقع الجذر التكعيبي على الأقل من العدد الكلى لعبوات الرسالة : تسحب كيات 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 تمثيلاً صحيحاً . توضع العينة في وعاء من مادة عازلة للرطوبة وغير منفذة للهواء ، ويفلق بإحكام .

٣ - في حالة الأسمنت السائب :

تؤخذ كيات 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 المأخوذة ، ثم تقسم بطريقة التجزئ الربعى للحصول على عينة متجانسة تمثل الرسالة تمثيلاً صحيحاً ولا يقل وزنها عن ٥ كجم ، وتوضع في وعاء من مادة عازلة للرطوبة وغير منفذة للهواء ، ويفلق بإحكام .

المواد المستخدمة في الاختبارات الكيميائية .

يراعى في إجراء الاختبارات الكيميائية التالية وكذلك في تحضير الكواشف ما يلى :

- ١ - أن يكون الماء المستخدم مقطرأ .
 - ٢ - أن تكون جميع المواد المستخدمة من صنف د كاشف تحليلي . .
 - ٣ - أن يستعمل الماء المقطر ككذب ما لم ينص على غير ذلك .
- تجهيز العينة للاختبار :

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

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

طرق الاختبار

(١) عدد مرات إجراء التقديرات لكل اختبار والاختلافات المسموح بها .
يجرى كل اختبار مرتين وفي أيام مختلفة . يجب ألا يزيد الاختلاف بين النتيجةين على الحد الأقصى المبين في الجدول . وإذا زاد الاختلاف بين النتيجةين على هذا الحد تكرر عملية التقدير حتى تتفق نتيجةتان أو ثلاث نتائج في حدود الاختلاف المبين في هذا الجدول وتكون القيمة الصحيحة هي متوسط النتيجةين أو النتائج الثلاث التي اتفقت في حدود الاختلاف المبين في الجدول . وتحسب نتائج النسب المئوية للمواد المقدرة إلى أقرب ٠.٠١ .

وإذا كانت عملية التقدير تقتضى إجراء اختبار ضابط ، فيجرى هذا الاختبار الضابط في نفس اليوم الذى تجرى فيه عملية التقدير .
توزن عينات الاختبار المستخدمة في التقدير وكذا الرواسب الناتجة إلى أقرب

الحد الأقصى للاختلاف المسموح به في نتائج الاختبارات

المكونات		الحد الأقصى المسموح به للاختلاف
بين نتيجتين	بين القيم المتطرفة أكثر من ثلاث نتائج	
٠,١٦	٠,٢٤	١ - ثاني أكسيد السليكون
٠,٢٠	٠,٣٠	٢ - أكسيد الألومنيوم
٠,١٠	٠,١٥	٣ - أكسيد الحديدك
٠,٢٠	٠,٣٠	٤ - أكسيد الكالسيوم
٠,١٦	٠,٢٤	٥ - أكسيد المغنسيوم
٠,١٠	٠,١٥	٦ - ثالث أكسيد الكبريت
٠,١٠	٠,١٥	٧ - الفقد في الوزن بالحرق
٠,١٠	٠,١٥	٨ - المواد غير القابلة للذوبان
٠,٢٠	٠,٣٠	٩ - أكسيد الكالسيوم المطبق
٠,٣٥	٠,٥٠	١٠ - أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم
٠,٠٣	٠,٠٥	١١ - خامس أكسيد الفوسفور
٠,٠٣	٠,٠٥	١٢ - أكسيد المنجنيز

(ب) الاختبارات :

١ - تقدير ثاني أكسيد السليكون :

نذاب عينة معلومة الوزن من الاسمنت في حمض هيدروكلوريك - ثم ترشح السليكا الناتجة وتحرق وتوزن ثم تعامل بـ حمض هيدروفلوريك ويحرق المتبقى ويوزن - وتكون السليكا هي الفرق بين الوزنين الآخرين .

٢ - تقدير المجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم :

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

٣ - تقدير أكسيد الحديدك :

يجرى تقدير الحديد بالطريقة الحجمية بالمعايرة بمحلول ثاني كرومات البوتاسيوم

القياسي مستخدماً ثنائي فينيل أمين سلفونا الباريوم كدليل .

٤ — تقدير أكسيد الألومنيوم .

النسبة المئوية لأكسيد الألومنيوم = $1 - (ب + ج)$.

حيث :

(١) النسبة المئوية للمجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم .

(ب) النسبة المئوية لأكسيد الحديد .

(ج) النسبة المئوية لخامس أكسيد الفوسفور .

يجرى تقدير خامس أكسيد الفوسفور بطرح نسبته المئوية من نسبة المجموعة

المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم في حالة عدم مطابقة العينة للواصفات المطلوبة .

يراعى أن أى تيتانيوم موجود في العينة يتم ترسيبه مع أكسيد الحديد وأكسيد

الألومنيوم ضمن المجموعة المترسبة بهيدروكسيد الأمونيوم ولذا تتضمن النسبة المئوية

لأكسيد الألومنيوم المحسوبة بالطريقة سالفة الذكر النسبة المئوية لأكسيد التيتانيوم

التي قد تكون في العينة .

٥ — تقدير أكسيد الكالسيوم :

يرسب الكالسيوم من الرشح المحفوظ به من تقدير المجموعة المترسبة بهيدروكسيد

الأمونيوم وذلك باستخدام أمكالات الأمونيوم ؛ ويحرق الراسب ويوزن على هيئة

أكسيد كالسيوم .

٦ — تقدير أكسيد المغنسيوم :

يرسب المغنسيوم من الرشح المحفوظ به من تقدير أكسيد الكالسيوم وذلك

باستخدام فوسفات الأمونيوم أحادية الهيدروجين ، ويحرق الراسب ويوزن على هيئة

بيروفسفات المغنسيوم .

٧ — تقدير ثالث أكسيد الكبريت :

ترسب الكبريتات بكلوريد الباريوم وتحرق كبريتات الباريوم الناتجة وتوزن

وتحسب على هيئة ثالث أكسيد كبريت .

٨ — تقدير الفقد في الوزن بالحرق :

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

الوزن . تعدل طريقه العمل في حالة الامتنت البورتلاندى الخبثى .

٩ — تقدير المواد غير القابلة للذوبان :

يعامل وزن معلوم من العينة بمحضر هيدروكلوريك ويرشح ثم يعامل الراسب الناتج بمحلول هيدروكسيد صوديوم وبرشح ويحرق المتبقى ويوزن .

١٠ — تقدير أكسيد الكالسيوم الحر في مذيب من الجليسرول والايثانول ثم يعاير بمحلول خلات الامونيوم القياسى .

١١ — تقدير الكبريت الموجود على هيئة كبريتيد :

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

١٢ — تقدير أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم :

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

١٣ — تقدير خامس أكسيد الفوسفور :

يقدر خامس أكسيد الفوسفور بترسيب الفوسفات بالعينة بواسطة موليبدات الامونيوم ثم إذابة الراسب الناتج في هيدروكسيد الامونيوم وإعادة الترسيب بمزيج المنجنيزيا ثم حرق الراسب الناتج ووزنه على هيئة بيروفسفات المنغنسيوم .

١٤ — تقدير أكسيد المنجنيز :

يقدر أكسيد المنجنيز بالمعايرة بمحلول قياسى من زرينخيت الصوديوم .