بسم الله الرحمن الرحيم

﴿سبحانك لاعلم لنا إلا ما علمتنا ، إنك أنت العليم الحكيم﴾

الحمد لله والصلاة والسلام على رسول الله ﷺ.

أما بعد .....

تحتوى هذا الكتاب على عشرة أبواب مختلفة تتناول موضوع مواد البناء والتشييد من حيث مصادرها وطرق صناعتها وخواصها الطبيعية والميكانيكية والكيميائية واختباراتها المعملية وضبط جودتها وحدود المواصفات القياسية المصرية لها واشتراطات صلاحية هذه المواد للاستخدام فى البناء والتشييد. والحقيقة أن كثيراً من أساتذة الهندسة لهم السبق والفضل فى الكتابة فى مثل موضوع هذا الكتاب. وإننا نتقدم بخالص الشكر والتقدير لهم ولجميع أساتذتنا الذين أعطوا علمهم ووهبوا أنفسهم للبحث العلمي وأضافوا الكثير إلى المكتبة العربية عن طريق نشر الكتب المتخصصة فى هذا المجال ، وإننا على خطاهم نسير محاولين أن نضيف الجديد عن التكنولوجيا الحديثة في مجال مواد البناء الحديثة والتى ثبتت صلاحيتها فى جمهورية مصر العربية. وقد آثرنا أن تكون لغة الكتاب هى العربية وذلك حتى يكون عوناً لمهندسى التنفيذ والإشراف فى منطقتنا العربية. والله نسأل أن يغفر لنا ذللنا وخطأنا وأن ينفع بهذا الكتاب طلابنا ومهندسينا وأن يجعله فى ميزان حسناتنا إنه قريب مجيب الدعاء.

والله من وراء القصد

أ.د. / محمود إمام

الأستاذ بقسم الهندسة الإنشائية
كلية الهندسة – جامعة المنصورة

د / محمد أمين

المدرس بقسم الهندسة المدنية
معهد مصر العالى للهندسة والتكنولوجيا
بالمنصورة

كل الحقوق محفوظة

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف ، ولا يجوز نشر أى جزء من هذا الكتاب أو إعادة طبعه أو تصويره أو إختزان مادته العلمية بأى صورة من الصور دون موافقة كتابية من المؤلف.

رقم الإيداع بدار الكتب: ٣٦٤٤ / ٢٠٠٧

المحتويات Contents

الباب الأول : مقدمة عامة عن الخرسانة ١

الباب الثانى : الأسمنت

٢-١	مقدمة ونبذة تاريخية	٧
٢-٢	صناعة وإنتاج الأسمنت البورتلاندى	٨
٢-٣	مكونات الأسمنت وتركيبه الكيميائي	١٣
٢-٤	إماهة الأسمنت البورتلاندى	١٧
	٢-٤-١ ميكانيكية الإماهة	١٧
	٢-٤-٢ التفاعلات الأساسية للإماهة	١٨
	٢-٤-٣ حرارة الإماهة	٢١
	٢-٤-٤ طبيعية عملية إماهة الأسمنت	٢٣
٢-٥	إنتاج الأسمنت فى مصر	٢٧
٢-٦	خواص واختبارات الأسمنت البورتلاندى الطبيعية والميكانيكية	٣٣
	٢-٦-١ خواص واختبارات مسحوق الأسمنت الجاف	٣٣
	٢-٦-٢ خواص واختبارات عجينة الأسمنت	٤٤
	٢-٦-٣ خواص واختبارات مونة الأسمنت	٥٦

الباب الثالث : المواد الإحلالية المختلفة للأسمنت

	مقدمة	٧١
٣-١	خبث الفرن العالي المحبب (S)	٧٣
٣-٢	المواد البوزولانية (P, Q)	٧٣
٣-٣	الرماد المتطاير (V , W)	٧٤
٣-٤	الطفل المحروق (T)	٧٦
٣-٥	الحجر الجيري (L , LL)	٧٦
٣-٦	غبار السيليكا (D)	٧٧
	المكونات الإضافية الضئيلة	٧٨
	كبريتات الكالسيوم	٧٨
	الإضافات	٧٨

الباب الرابع: الركـــام

٤-١	مقدمة	٨٣
٤-٢	تصنيف الركام	٨٤
	٤-٢-١ التصنيف العام	٨٤
	٤-٢-٢ تصنيف الركام تبعاً لخواصه المميزة	٨٥
٤-٣	أنواع الركام المحلية الاستخدام	٨٩
	٤-٣-١ الركام الطبيعي	٨٩
	٤-٣-٢ الركام الصناعي	٩١
٤-٤	الخواص الطبيعية للركام	٩٤
	٤-٤-١ شكل ونسيج سطح حبيبات الركام	٩٤
	٤-٤-٢ المسامية والامتصاص لحبيبات الركام	٩٥
	٤-٤-٣ ترابط حبيبات الركام مع العجينة الأسمنتية	٩٧
	٤-٤-٤ الوزن النوعي للركام	٩٧
	٤-٤-٥ الكثافة الكلية (الوزن الحجمى) والفراغات بين الركام	٩٩
	٤-٤-٦ محتوى الرطوبة فى الركام	١٠٢
	٤-٤-٧ الزيادة الحجمية للركام الناعم	١٠٣
	٤-٤-٨ التدرج الحبيبي للركام	١٠٤
	الخواص الكيميائية للركام	١٢٠
٤-٥	٤-٥-١ المواد الضارة فى الركام	١٢٠
	٤-٥-٢ ثبات حجم الركام	١٢٤
	٤-٥-٣ التفاعل القلوى للركام	١٢٤
	الخواص الميكانيكية للركام	١٢٦
٤-٦	٤-٦-١ مقاومة الركام	١٢٦
	٤-٦-٢ متانة الركام	١٢٨
	٤-٦-٣ صلادة الركام	١٢٨
	٤-٦-٤ تحمل الركام مع الزمن	١٢٩
	الخواص الحرارية للركام	١٢٩
٤-٧	٤-٧-١ التمدد الحراري للركام	١٢٩
	٤-٧-٢ الحرارة النوعية والموصلية الحرارية للركام	١٣٠
	اختبارات الركام	١٣١
٤-٨	٤-٨-١ طرق أخذ العينات	١٣٢
	٤-٨-٢ اختبار التحليل بالمناخل للركام	١٣٥
	٤-٨-٣ اختبار تعيين النسبة المئوية للامتصاص للركام	١٤٢
	٤-٨-٤ اختبار تعيين الوزن النوعي الظاهري للركام	١٤٦

٤-٨-٥ اختبار تعيين الوزن الحجمى والنسبة المئوية للفراغات ١٤٨
٤-٨-٦ اختبار تعيين معامل العصوية للركام الكبير ١٥٠
٤-٨-٧ اختبار تعيين معامل التفلطح للركام الكبير ١٥٣
٤-٨-٨ اختبار تعيين الزيادة الحجمية للركام الصغير ١٥٦
٤-٨-٩ اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام بالوزن ١٥٨
٤-٨-١٠ اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالحجم ١٦٠
٤-٨-١١ اختبار معامل التهشيم للركام الكبير ١٦١
٤-٨-١٢ اختبار تعيين مقاومة الركام للبرى بجهاز لوس أنجلس ١٦٤
٤-٨-١٣ اختبار تعيين معامل الصدم للركام (اختبار متانة الركام) ١٦٨
٤-٨-١٤ تعيين تأثير الشوائب العضوية على مقاومة الضغط ١٧٣
٤-٨-١٥ اختبار تعيين الشوائب العضوية للركام ١٧٦
٤-٨-١٦ تعيين محتوى الأملاح ١٧٧

الباب الخامس : ماء الخلط والمعالجة للخرسانة

٥-١ مقدمة ١٨١
٥-٢ وظيفة ماء الخلط ١٨٣
٥-٣ استعمالات الماء فى الخرسانة ١٨٤
٥-٤ المواد الضارة فى ماء الخلط ١٨٧
٥-٥ اختبارات مياه الخلط والمعالجة ١٨٨

الباب السادس : الإضافات الكيميائية والمعدنية

٦-١ تعريف ١٩٥
٦-٢ الاشتراطات العامة المطلوبة عند استخدام الإضافات ١٩٦
٦-٣ أهم الأنواع الشائعة من الإضافات ١٩٦
٦-٣-١ إضافات تخفيض الماء والتحكم فى الشك ١٩٧
٦-٣-٢ إضافات الهواء المحبوس ٢٠٥
٦-٣-٣ إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة ٢٠٦
٦-٣-٤ إضافات لمنع إجتراف الأسمنت بفعل الماء ٢٠٧
٦-٣-٥ إضافات لتلوين الخرسانة ٢٠٨
٦-٣-٦ إضافات أخرى متنوعة ٢٠٩

الباب السابع : الجير

٧-١ مقدمة ٢١١
٧-٢ أنواع الجير ٢١٢
٧-٣ عملية التصنيع للجير ٢١٤
٧-٤ عملية طفي الجير الحي ٢١٤
٧-٥ استعمالات الجير ٢١٦
٧-٦ اختبارات الجير ٢١٦
٧-٧ اشتراطات عامة على الجير ٢١٨

الباب الثامن : الجبس

٨-١	مقدمة	٢١٩
٨-٢	استخراج الجبس	٢١٩
٨-٣	صناعة الجبس	٢٢٠
٨-٤	أنواع الجبس	٢٢٠
٨-٥	خواص الجبس	٢٢٢
٨-٦	استعمالات الجبس	٢٢٣
٨-٧	اختبارات الجبس	٢٢٤

الباب التاسع : المواد البيتومينية

	مقدمة	٢٢٩
٩-١	اختبار تعيين درجة الغرز للبيتومين	٢٣٠
٩-٢	اختبار تعيين اللزوجة للبيتومين	٢٣٢
٩-٣	اختبار تعيين درجة المط أو الممطولية	٢٣٣
٩-٤	درجة الاشتعال والاحتراق	٢٣٥
٩-٥	اختبار التطاير	٢٣٧
٩-٦	اختبار مارشال	٢٣٧

الباب العاشر : خواص و اختبارات الخرسانة الطازجة

١٠-١	مقدمــة	٢٤١
١٠-٢	تحضير عينات اختبارات الخرسانة الطازجة	٢٤٢
١٠-٣	الخواص الرئيسية للخرسانة الطازجة	٢٤٢
	القوام	٢٤٣
	القابلية للتشغيل	٢٥٣
	الانفصال الحبيبي	٢٥٩
	النضح	٢٦٠

المراجع ٢٦١

المحتويات ٢٦٥

****

كل الحقوق محفوظة

رقم الإيداع بدار الكتب : ٢٠٠٧/ ٣٦٤٤

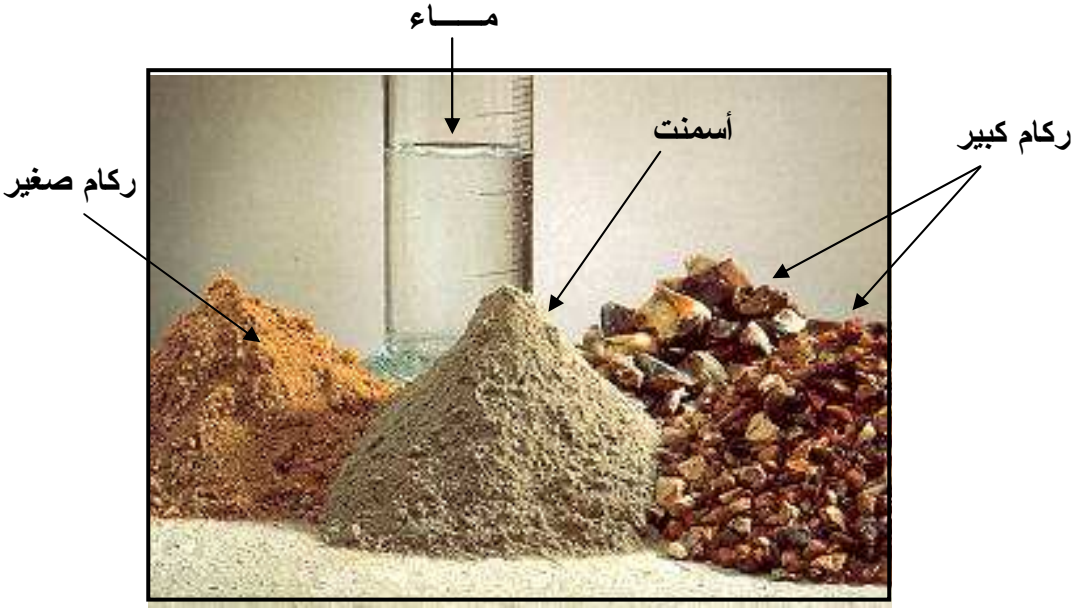
الباب الأول

مقدمة عامة عن الخرسانة

"الخرسانة هى بنيان Structure يتركب من عدة مواد Materials كما بشكل (١-١) والجزء الأكبر فى هذا البنيان هو الركام الذى يتماسك مع بعضه فى صورة شبيهة بالكتلة الحجرية وذلك بفعل العجينة الأسمنتية المغلفة للركام والتى تتصلد نتيجة التفاعل الكيمائى بين الأسمنت والماء" ونسب توزيع المواد المختلفة المكونة للخرسانة (بالحجم) فى أغلب الأحوال هى:

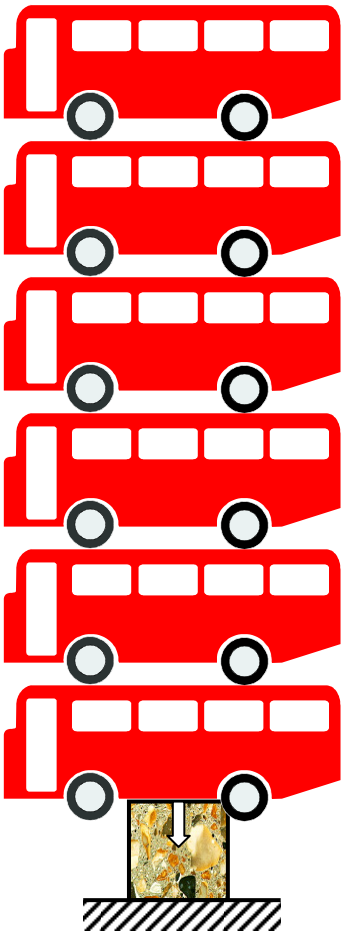
ركام (كبير وصغير)	عجينة الأسمنت	فراغات
٦٠ - ٧٠ %	٣٠ - ٤٠ %	١ - ٢ %

ويتضح من ذلك أن الركام هو المكون الأساسى لجسم الخرسانة حيث يحتل حوالى من ٣/٢ الى ٤/٣ حجم الخرسانة. والركام يعتبر مادة رخيصة نسبياً بالإضافة إلى أنه يعمل على تقليل التغير الحجمى للخرسانة الناتج من عمليتى الشك والتصلد ومن تغير الرطوبة فى عجينة الأسمنت. أما عجينة الأسمنت فتقوم بوظيفة فعالة وذلك بإيجاد التماسك بين الركام وإعطاء الخرسانة المقاومة المطلوبة وملء الفراغات بين حبيبات الركام وتسهيل إنزلاق الركام أثناء الصب.



شكل (١-١) المكونات الأساسية للخرسانة.

والخرسانة فى حالتها المتصلدة تبدو كمادة صخرية ذات مقاومة عالية للضغط، فيمكننا أن نتخيل أن مكعباً من الخرسانة طول ضلعه ١٥سم يمكنه تحمل وزن مقداره ٧٥ طن فى الضغط (ما يعادل وزن ستة أوتوبيسات تقريباً) كما فى شكل (١-٢). أما الخرسانة فى حالتها الطازجة فلها خاصية اللدونة التى تسمح بتشكلها فى أى قالب معمارى مطلوب (شكل ١-٣). وتعتبر الخرسانة مع الصلب أكثر المواد الإنشائية شيوعاً وإستعمالاً فى عصرنا الحديث وذلك لسهولة تواجدها والرخص النسبى للمواد المكونة لها وأيضا لسهولة ورخص تصنيعها. وتستخدم الخرسانة فى المباني والطرق والكباري والأنفاق والسدود وفلنكات السكك الحديدية وصوامع الغلال ومحطات الطاقة النووية وغير ذلك الكثير من المنشآت التى تحيط بنا فالخرسانة تدخل فى تشييد المنشآت التي نسكن فيها ونعمل فيها ونتعلم فيها ونأكل فيها ونلعب فيها ونمشي عليها و... إلخ (شكل ١-٤). فهل تخيلت عزيزي القارئ ما سيكون عليه الحال لو أن جميع الكباري الخرسانية فى جمهورية مصر العربية قد أزيلت !!!!.



شكل (١-٢) للخرسانة قدرة عالية على تحمل قوى الضغط.

شكل (١-٣) للخرسانة الطازجة القدرة على التشكل فى أي قالب معماري.

الكباري والجسور

فلنكات السكك الحديدية

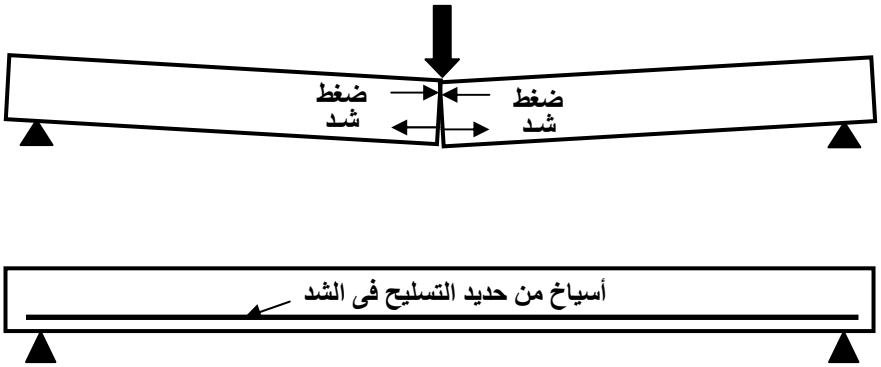
المباني الإدارية والسكنية

ملاعب الكرة والاستادات

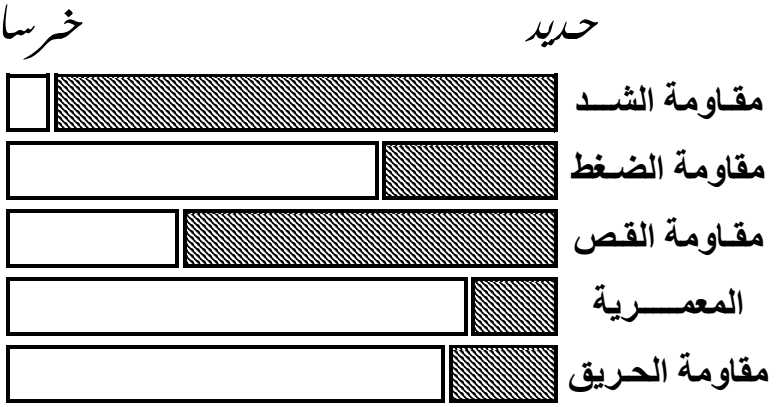
شكل (١-٤) الخرسانة المسلحة أكثر المواد الإنشائية شيوعاً وإستعمالاً فى عصرنا الحديث.

وتعتبر الخرسانة مع حديد التسليح مادتين متكاملتين من حيث الخواص ويتضح ذلك فى شكلي (١-٥) ، (١-٦). ويمكن إستعمال الخرسانة بالإشتراك مع مواد أخرى لتكوين قطاعات مركبة Composite Sections كما فى حالة إستخدام قطاعات الصلب مع الخرسانة أو لتكوين مواد مركبة Composite Materials كما فى حالة إضافة أنواع معينة من الألياف الى الخرسانة أثناء خلطها لتحسين بعض الخصائص المرغوبة.

ومن أهم عيوب الخرسانة أن مقاومتها للشد ضعيفة نسبيا ولهذا فعند إستعمالها فى الأغراض الإنشائية فإنه يتم إستعمالها مع أسياخ الصلب التى تقوم بمقاومة قوى الشد. ومن عيوب الخرسانة كذلك الحركة الناتجة من الإنكماش بالجفاف أو من الرطوبة والتى تسبب شروخا شعرية دقيقة يلزم لملافاة وجودها وضع حديد التسليح المناسب أو عمل وصلات Joints بالخرسانة على مسافات متباعدة. كما أن الخرسانة ليست مصمتة تماماً وإنما تسمح بنفاذ السوائل والغازات بدرجات متفاوتة تعتمد على جودة الخرسانة ونسبة الفراغات بها. ونفاذ الرطوبة فى الخرسانة المسلحة يعمل على صدأ الحديد وتآكله وأيضا ينتج عنه تبقيع سطح الخرسانة وتلفها.



شكل (١-٥) حديد التسليح يحل مشكلة الخرسانة فى تحمل قوى الشد .



شكل (١-٦) تكامل الخواص فى الخرسانة وحديد التسليح.

الباب الثاني

الأسمنت Cement

٢-١ مقدمة ونبذة تاريخية

الأسمنت هو مادة ناعمة، إذا أضفنا لها الماء نحصل على مونة لزجة، تتحول لصلدة بعد فترة من الـزمن فى الماء أو الهواء على السواء، وبالتالي نقول أن للأسمنت خواص هيدروليكية أى أن للأسمنت الكفاءة علـى الشك والوصول إلى حالته الصلبة تحت الماء نتيجة لبعض التفاعلات الكيميائية المختلفة وتكـوين منتجـاً مقاوماً لتيارات الماء. لذلك فإن للأسمنت دور هام كمادة لاحمة مسئولة عن التلاصق بين المواد والعناصـر المختلفة وهذا الدور يظهر فى استخدامات الأسمنت بكثرة فى الأعمال الإنشائية والمعمارية. علـى ذلـك يكون من الضروري معرفة عمليات صناعة وإنتاج الأسمنت البورتلاندى بأنواعه المختلفة وكذلك تعـيين ومعرفة التركيبات والخواص الكيميائية والطبيعية والتكوين البلوري لمركباته وتفاعلاتها ودراسة الـتغيرات المختلفة المصاحبة للتفاعلات الكيميائية بين مركبات الأسمنت والماء.

- يرجع استخدام المواد الأسمنتية إلى قديم الزمان، حيث أن أصل تلك المواد التى تسمى بالجير العادي والجير الهيدروليكي. الجير العادي عبارة عن حجر جيري نقى تم إطفاءه ليصبح جير حـي والـذي يستخدم بعد إطفاءه بالماء كمادة لاحمة حيث أنه يمتص ثاني أكسيد الكربون من الجو فيتحول مـن أكسيد كالسيوم إلى كربونات كالسيوم أى يرجع إلى صورته الأولى كحجر جيري قوى قبل عملية التكليس. أما الجير الهيدروليكي المائي فينتج من تكليس الحجر الجيري غير النقي والذي يحتوى على سيليكا وألومينا وأكسيد الحديد والذي له خاصية التلاصق والتصلد تحت الماء.
- فى العصور القديمة كان للقدماء المصريين الدور الفعال فى استخدام المواد الأسمنتية الناتجة من الجـير والجبس، ثم استخدم اليونانيون والرومان الحجر الجيري المكلس وبعد ذلك تم طحن خلـيط مـن الحجر وبعض من التراب والحمم البركانية والمسمى بالبوزولان والذي وجد لأول مرة بالقرب من بلدة بوزولى فى إيطاليا وأنتجوا من هذا الخليط الأسمنت البوزولانى، وكان لهذا الأسمنت دور فعال فى تصنيع الخرسانة بقوة فى منشآت عدة.
- ثم شهدت القرون الوسطى تأخر وانخفاض فى طرق التصنيع ومعدلات الإنتاج والاستخدام بالمقارنة بالعصور القديمة، ثم ظهرت بعد ذلك تحسينات أخرى نحو إنتاج واستخدام الأسمنت البـوزولانى فى القرن الثامن عشر.
- ثم تم تطوير الأسمنت بعد ذلك إلى إنتاج نوع جديد من الأسمنت وهو الأسمنت البورتلاندى والـذي اكتشفه جوزيف اسبيدن البناء الانجليزى فى أوائل القرن التاسع عشر عام ١٨٢٥م، ويرجع اسـم

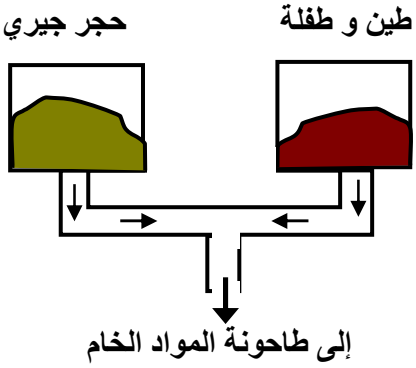
بورتلاند إلى تشابه صلادة الأسمنت البورتلاندى مع بعض أحجار البناء الموجودة فى جزيرة بورتلاند بإنجلترا لذلك أطلق على هذا النوع من الأسمنت بالأسمنت البورتلاندى والذي ينتج من تسخين خليط من الطين الناعم جداً والحجر الجيري فى فرن حتى يتطاير ثاني أكسيد الكربون لتحصل على مادة أسمنتية لاحمة تحت الماء أو فى الهواء.

- ثم بعد ذلك تم إنتاج الأسمنت الحديث بواسطة إسحاق جونسون فى عام ١٨٤٥، والذي قام بحرق خليط من الطين والجير حتى درجات حرارة عالية ليتكون الكلنكر والذي يطحن محتويا على مركبات المواد الأسمنتية القوية والتى تشابه تقريبا مركبات الأسمنت البورتلاندى فى العصور الحديثة.
- وفى العصور الحديثة توالت التحسينات فى مراحل تطوير تصنيع وإنتاج أنواع الأسمنت المختلفة طبقا للأغراض المختلفة فى الكثير من المجالات مثل الأسمنت فائق النعومة والأسمنت المقاوم للكبريتات والأسمنت سريع التصلد والأسمنت منخفض الحرارة والأسمنت الملون وهكذا...

٢-٢ صناعة وإنتاج الأسمنت البورتلاندى

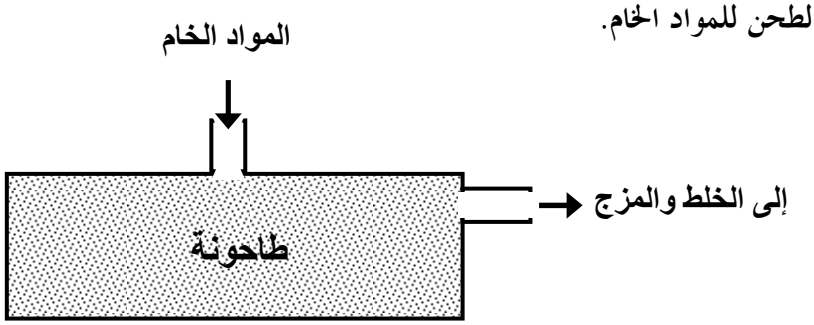
إن الأسمنت المستخدم حالياً هو الأسمنت البورتلاندى بصوره المتعددة، لذلك يجب معرفة طرق صناعته وإنتاجه والتعرف على المواد الخام المستخدمة فى إنتاجه والمحتوية على الكالسيوم والسيليكا بنسب معينة. نظراً لأن سيليكات الكالسيوم هي المكون الأساسى للأسمنت البورتلاندى، لذلك فإن المواد الخام المستخدمة فى إنتاج الأسمنت والغنية بالكالسيوم هى الحجر الجيري **(Lime stone)** والحجر الطباشيري **(Chalk)** والرخام والأصداف البحرية وبنسبة قد تصل إلى ٧٥%، أما الطين **(Clay)** والطفل **(Shale)** ونسبته حوالي ٢٥% فهي المصادر الرئيسية للسيليكا المطلوبة فى صناعة الأسمنت واللازمة لإنتاج سيليكات الكالسيوم. ويحتوى الطين على بعض من أكاسيد الحديد **(Fe_2O_3)** وأكسيد الألومنيوم **(Al_2O_3)** والقلويات والتى تساعد على تكون سيليكات الكالسيوم عند درجات حرارة منخفضة نسبيا ولذلك فإنه فى أغلب الأحيان يضاف إلى المواد الخام السالفة الذكر أكسيد الحديد (مواد خام الحديد) أو أكسيد الألمونيوم (بوكسيت) أو أكسيد السليكون (الرمل)، إذا كان الطين المستعمل يحتوى على نسبة ضعيفة من أحد هذه المواد. ولأنه يلزم دقة تجانس المواد الخام فى الخليط المطلوب لإنتاج الأسمنت قبل معالجتها الحرارية، لدقة تكوين المركبات المطلوبة فى كلنكر الأسمنت لذلك يتم تحديد النسب المطلوبة عن طريق التحاليل الكيمائية للمواد لمعرفة عناصر مركبها الكيمائي للوصول إلى المنتج المطلوب من الأسمنت. يتم ذلك فى مرحله الخلط والمزج للمواد والتى تلي مرحلة استخراج المواد الخام وطحنها حيث أن المواد الخام تستخرج من المقاطع والمحاجر بطريقة التفجير أو مباشرة بمعدات ميكانيكية ضخمة، ثم تنقل إلى كسارات لطحنها من صخور وكتل إلى حصوات بقطر من ١٠ إلى ٥٠ مم، ثم يتم خلطها بالنسب المطلوبة. والخطوات الآتية تلخص طريقة تصنيع الأسمنت البورتلاندى:

١- يتم تجميع المواد الخام الأساسية بالنسب المطلوبة كما هو موضح بالشكل (٢-١) وتسمى مرحلة الخلط.



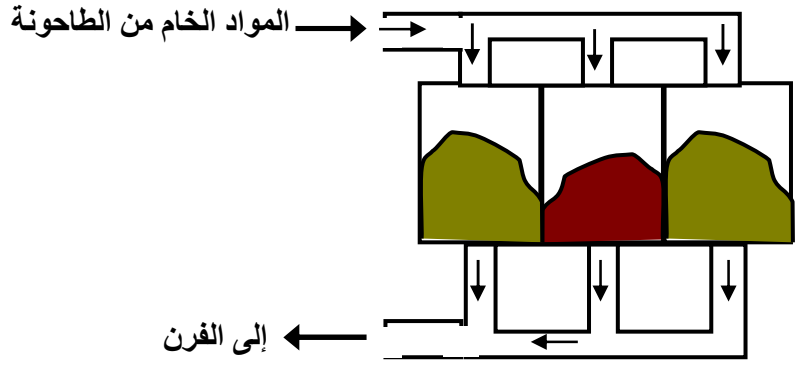
شكل (٢-١) تجميع المواد الخام الأساسية

٢- يتم إعادة طحن المواد الخام (Crushing & Milling) بعد خلطها فى طواحين خاصة إلى جزيئات لا يزيد مقاسها عن ٧٥ ميكرون (٠,٠٧٥مم) كما هو موضح بالشكل (٢-٢) وتسمى مرحلة الطحن للمواد الخام.



شكل (٢-٢) إعادة طحن المواد الخام بعد خلطها

٣- بعد طحن وتنعيم المواد الخام يتم دمجها ومزجها (Blending) لتجانس المواد الخام فى الخليط كما هو مبين بالشكل (٢-٣) وتدعى مرحلة المزج والتجانس. وهذه المرحلة هي التي يتم فيها إجراء التحاليل الكيميائية لضبط المكونات.



شكل (٢-٣) مزج وتجانس المواد الخام ببعضها

٤- يتم حرق المواد الخام المجهزة بعد المزج والتجانس فى أفران خاصة حسب طرق التصنيع كما يلي:

- الطريقة الرطبة وهى أقدم طريقة استعملت فى صناعة الأسمنت مع نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين. هذه الطريقة تستهلك كثيراً من الطاقة، ولكنها تمكننا من الحصول على مواد ذات جودة عالية. تستعمل هذه الطريقة إذا كانت المواد الخام تحتوي على نسبة رطوبة عالية تتراوح ما بين ٣٠ إلى ٤٠% وقد يصل طول الفرن فى هذه الطريقة إلى ٢٣٠ متر وقطره من ٥ إلى ٧ متر ، وبانحدار ٣% للمساعدة على تدحرج المادة. ومعظم مصانع إنتاج الأسمنت البورتلاندى فى مصر تستعمل هذه الطريقة.
- الطريقة الجافة: وهى نتاج للتطور الهائل فى التكنولوجيا الحديثة حيث تستهلك حوالي ٦٠% من الطاقة المستهلكة فى الطريقة الرطبة وتمر المواد الخام الأولية على مستويات مختلفة فى درجة حرارتها والتي تبدأ من ٩٥٠ درجة مئوية فى بداية الفرن حتى تصل إلى ١٥٠٠ درجة مئوية فى نهاية الفرن ، ويصل طول الفرن إلى ٧٠ متر. وقد تصل الطاقة الإنتاجية فى هذه الطريقة إلى ٣٥٠٠ طن/يوم. وهناك بعض الحالات التى تضطر القائمين على صناعة الأسمنت إلى استخدام تلك الطريقة، وذلك عندما تكون المواد الخام صلدة لدرجة أنها لا تتفتت بالماء كما أنها أيضا تستعمل فى البلاد الباردة جداً حيث أنه يخشى على الماء من التجمد فى الخليط. كذلك تستخدم أيضا فى حالة قلة الماء اللازم لعملية الخلط كما هو الحال فى بلاد الجزيرة العربية.
- فى جميع طرق التصنيع تمر المواد الخام بثلاث مراحل مختلفة فى درجات الحرارة:

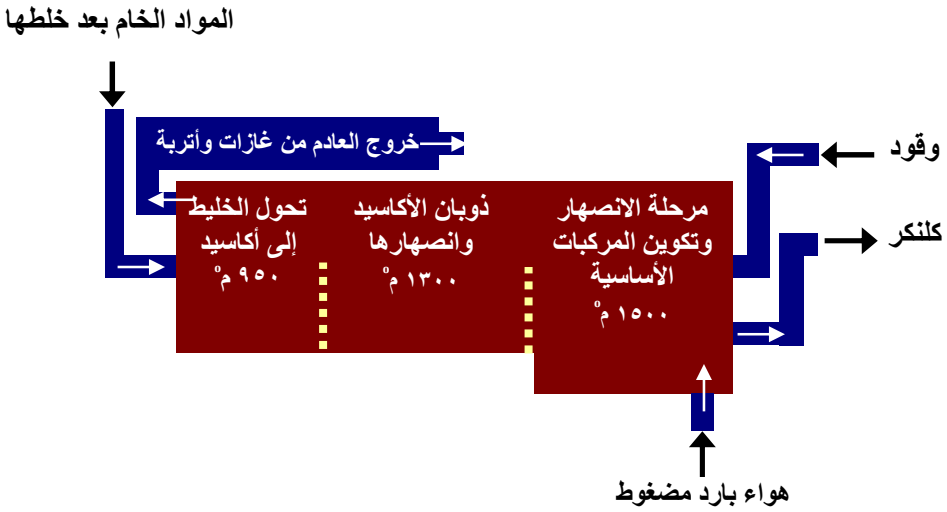
أ- مرحلة تحول المادة والتى أصلها كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) إلى أكسيد الكالسيوم (CaO) عند درجة حرارة ٩٥٠ درجة مئوية.

ب- مرحلة ذوبان المواد الرئيسية مثل أكاسيد الكالسيوم والألمونيوم والحديد فى حرارة من ١٢٥٠ إلى ١٣٥٠ درجة مئوية والتى عندها بداية الانصهار.

ج- مرحلة الانصهار والتى تحدث بين المواد المختلفة والحصول على مواد جديدة ، وهى عبارة عن :

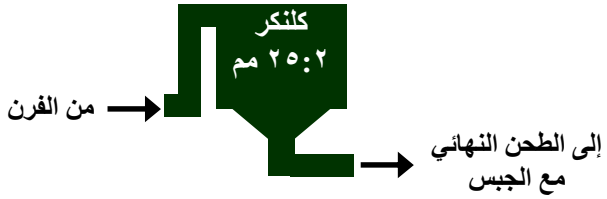
ثالث سيليكات الكالسيوم	C3S
ثاني سيليكات الكالسيوم	C2 S
ثالث ألومينات الكالسيوم	C3A
رابع ألومينات حديد الكالسيوم	C4AF

عندما تصل هذه المواد المنصهرة إلى آخر مرحلة فى الفرن، تكون الحرارة حوالى ١٥٠٠ درجة مئوية كما هو موضح بالشكل (٢-٤)



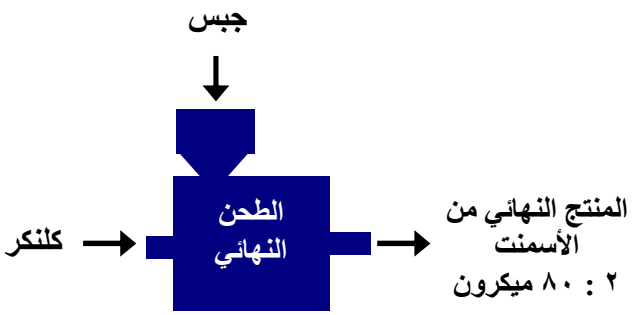
شكل (٢-٤) عملية حرق المواد الخام

٥- بعد الانصهار تتكون المواد الجديدة وتسمى الكلنكر **(Clinker)** وهى عبارة عن كرات صغيرة يتراوح قطرها ما بين ٢-٢٥مم والتى يتم تبريدها بسرعة فجائيا وذلك بضخ هواء بارد لمنع تبلور المواد والذي يحسن من خواص الأسمنت كما هو موضح بالشكل.



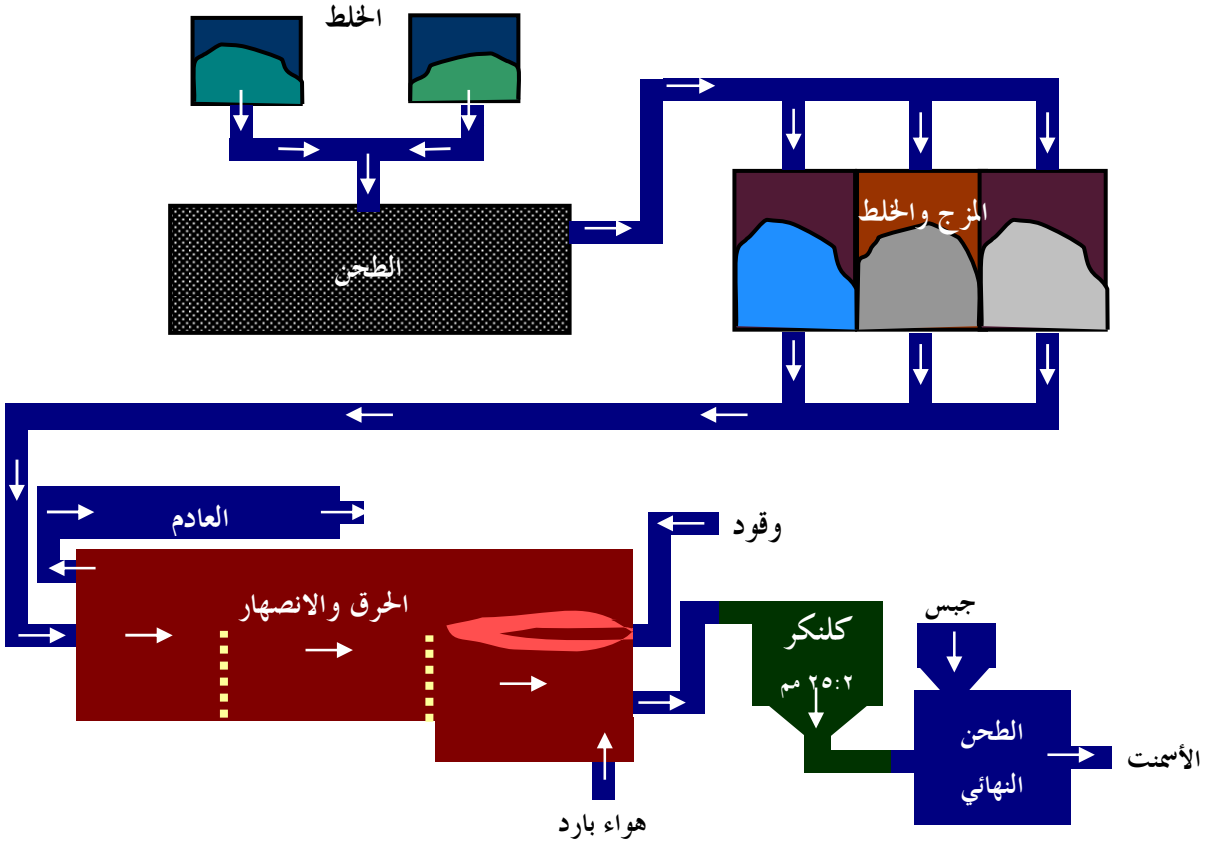
شكل (٢-٥) مرحلة تكوين الكلنكر

٦- يتم إضافة جبس (كبريتات الكالسيوم) إلى حبيبات الكلنكر بنسبة لا تزيد عن ٥% بغرض التحكم فى زمن الشك الابتدائي وتفاعلات التصلد للأسمنت كما هو مبين بالشكل (٢-٦)



شكل (٢-٦) إضافة الجبس للكلنكر و عملية الطحن النهائية.

٧- العملية النهائية فى صناعة الأسمنت البورتلاندى تحتوي على طحن الكلنكر إلى حبيبات مقاس قطرها ما بين ٢ إلى ٨٠ ميكرون ، والمادة المطحونة الناتجة هي الأسمنت كما هو موضح بالشكل الـــسابق. والشكل (٢-٧) يوضح تخطيط لجميع مراحل صناعة الأسمنت.



شكل (٢-٧) مراحل صناعة الأسمنت.

٢-٣ مكونات الأسمنت وتركيبه الكيميائي:

المكونات الأساسية للأسمنت البورتلاندى تنحصر فى الجير والسيليكات والألومينا وأكاسيد الحديد وعندما تخلط هذه المكونات ويتم عليها عملية الحرق بالأفران ويتكون الكلنكر والذي يحتوي على أربعة مركبات رئيسية بالشكل (٢-٨) وهى كما يلي:

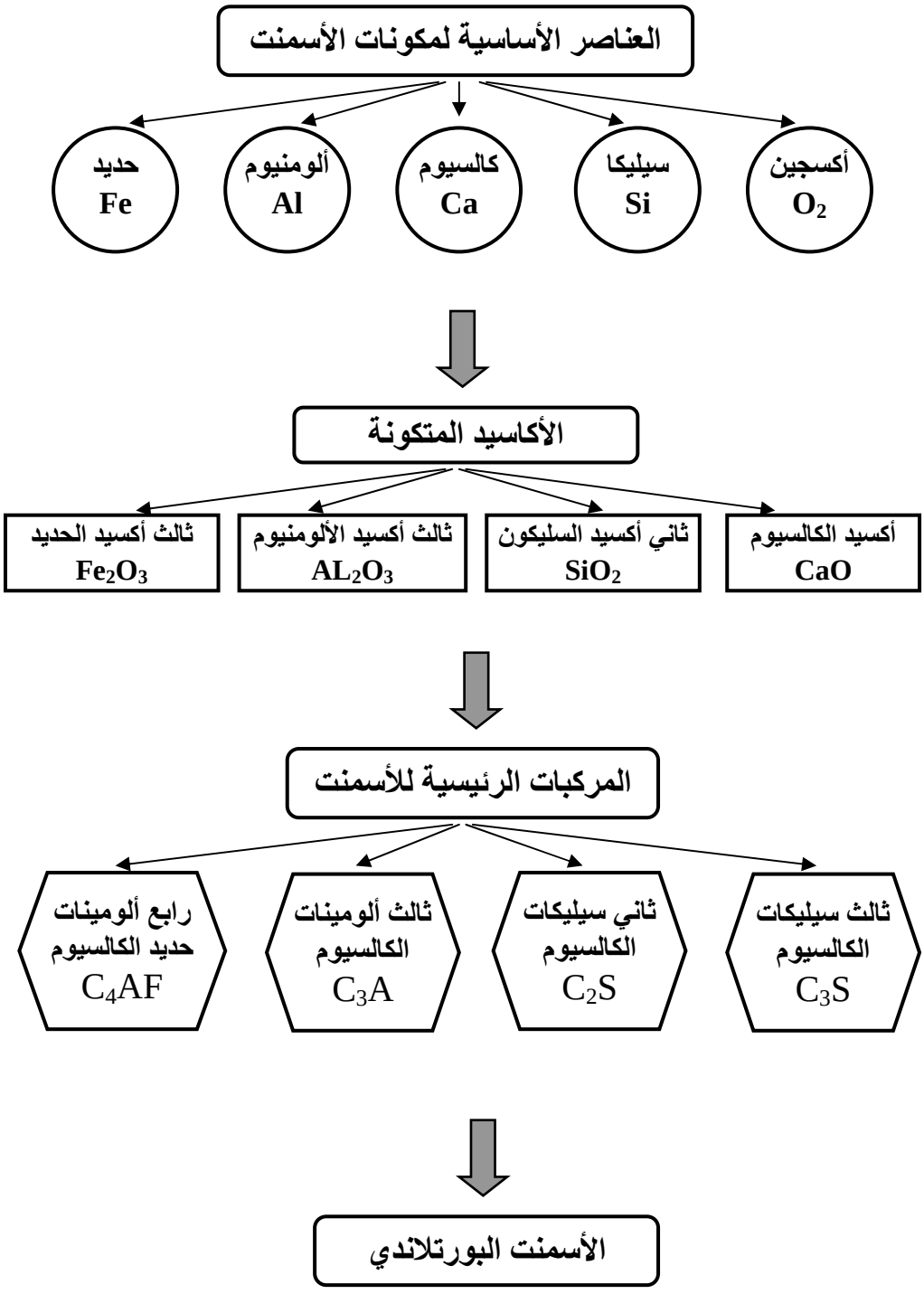
المركب	الاصطلاح	النسبة فى الأسمنت البورتلاندي
ثالث سيليكات الكالسيوم	C3S	٤٠ – ٥٥%
ثاني سيليكات الكالسيوم	C2 S	٢٠ – ٣٥ %
ثالث ألومينات الكالسيوم	C3A	٩ – ١١%
رابع ألومينات حديد الكالسيوم	C4AF	٥ – ١١%

كما أن الأسمنت البورتلاندى يحتوي على كميات صغيرة من المواد المتكونة الأخرى مثل:

- جير غير متحد – ماغنسيوم غير متحد – كبريتات كالسيوم
- قلويات (صوديوم و بوتاسيوم) – مواد غير ذائبة – ماء.

ومع أن الأسمنت البورتلاندى يتكون أساساً من مجموعة من مركبات الكالسيوم إلا أن نتائج التحليل الكيميائي للأسمنت تظهر على صورة أكاسيد للعناصر الموجودة، وهناك طريقتان لتحليل عينات كلنكر الأسمنت هما:

- الطريقة الأولى: تتلخص فى انعكاس الضوء من ميكروسكوب بصري على سطح مخدوش للعينة، حيث أن ثالث سيليكات الكالسيوم تظهر كبلورات سداسية المقطع، ويظهر ثاني سيليكات الكالسيوم على هيئة بلورات مستديرة المقطع وثالث ألومينات الكالسيوم ورابع ألومينات حديد الكالسيوم تظهر على هيئة أطوار متداخلة.



شكل (٢–٨) شكل تخطيطي يبين خطوات تكون الأسمنت البورتلاندي.

– الطريقة الثانية: تتلخص فى القياس بواسطة انعطاف أشعة أكس (X-ray) على عينة من بودرة مطحونة من الكلنكر حيث أنه يلزم معايرة الجهاز على خليط معلوم مركباته، ويتم تقدير نسب المركبات الجديدة باستخدام منحنيات المعايرة الخاصة بالجهاز.

وتحسب مركبات المكونات للأسمنت البورتلاندى من تحاليل الأكاسيد باستخدام مجموعة من المعادلات التي تسمى معادلات بوج (Bogue Equations) الآتية:

الحالة الأولى:

عندما تكون النسبة بين ثالث أكسيد الألومنيوم (AL_2O_3) وثالث أكسيد الحديد (Fe_2O_3) أكبر من أو تساوى ٠,٦٤ **(Alumina – Iron Ratio) AIR (AL_2O_3 / Fe_2O_3) ≥ 0.64**
$C_3S\% = 4.07\ (CaO) – 7.60\ (SiO_2) – 6.72\ (AL_2O_3) – 1.43\ (FeO_3) – 2.85\ (SO_3)$
$C_2S\% = 2.87\ (SiO_2) – 0.754\ (C_3S)$
$C_3A\% = 2.65\ (AL_2O_3) – 1.69\ (Fe_2O_3)$
$C_4AF = 3.04\ (Fe_2O_3)$

الحالة الثانية:

عندما تكون النسبة بين ثالث أكسيد الألومنيوم (AL_2O_3) وثالث أكسيد الحديد (Fe_2O_3) أقل من ٠,٦٤ فتتكون ألومينات حديد الكالسيوم كمواد سائلة تعبر عنها ($C_4A + C_2F$). **(Alumina – Iron Ratio) AIR (AL_2O_3 / Fe_2O_3) < 0.64**
$C_3S\% = 4.07\ (CaO) – 7.6\ (SiO_2) – 4.48\ (AL_2O_3) – 2.86\ (Fe_2O_3) – 2.85\ (SO_3)$
$C_2S\% = 2.87\ (SiO_2) – 0.754\ (C_3S)$
لا يحتوى الأسمنت فى هذه الحالة على ثالث ألومينات الكالسيوم
$(C_4A + C_2F)\% = 2.1\ (AL_2O_3) + 1.7\ (Fe_2O_3)$ **المواد السائلة ألومينات حديد الكالسيوم**

ويجب أيضا تحديد معامل تشبع الجير (Lime Saturation Factor) وهو نسبة الجير أو أكسيد الكالسيوم إلى أكاسيد السليكون والألمنيوم والحديد، وذلك بغرض معرفة كمية الجير المستخدمة فى إنتاج الأسمنت لأنه كلما زادت كمية الجير عن الحدود المسموح بها تسببت فى تكون الكلنكر مبكرا ويقلل من درجة الحرارة أثناء الحرق مما يؤثر على إتمام عملية التفاعل والاتحاد للسيليكا والألمنيوم والتى تحتاج إلى درجات حرارة عالية للانصهار وجدية التفاعل. ومن هنا فإن معامل تشبع الجير (LSF) هو كالآتي:

$$L\ S\ F = \frac{Ca\ O - 0.7\ (SO_3)}{2.8\ (SiO_3) + 1.2\ (AL_2\ O_3) + 0.65\ (Fe_2O_3)}$$

و هذا المعامل يجب أن لا يزيد عن ١,٠٢ ولا يقل عن ٠,٦٦ (0.66 < LSF < 1.02)

وكذلك يوجد معامل آخر ذو أهمية فى تحديد نسبة السيليكا بالنسبة لألومينا الحديد فى الأسمنت وهو معامل السيليكا (Silica Ratio) كما يلي:

$$S\ R = \frac{Si\ O_2}{Al_2\ O_3 + Fe_2\ O_3}$$

لأنه بزيادة نسبة السيليكا وانخفاض نسبة الألومينا يعطينا أسمنت بطئ الشك ويقاوم التأثيرات الكيميائية، أما إذا زادت نسبة الألومينا وانخفضت نسبة السيليكا فإن الأسمنت يكون سريع التصلد.

ومن هنا فإن الحدود التقريبية للأكاسيد المكونة للأسمنت البورتلاندى توضح بالجدول (٢-١)

جدول (٢-١) الحدود التقريبية للأكاسيد المكونة للأسمنت البورتلاندى

الأكسيد	الرمز	المحتوى %
أكسيد الكالسيوم	CaO	٦٠ – ٦٧
ثاني أكسيد السليكون	SiO_2	١٧ – ٢٥
ثالث أكسيد الألومنيوم	AL_2O_3	٣ – ٨
ثالث أكسيد الحديد	Fe_2O_3	٠,٥ – ٦
أكسيد الماغنسيوم	MgO	٠,١ – ٤
القلويات(أكسيد الصوديوم – أكسيد البوتاسيوم)	Na_2O K_2O	٠,٢ – ١,٣
ثالث أكسيد الكبريت	SO_3	١ – ٣

٢-٤ إماهة الأسمنت البورتلاندى Hydration

إماهة الأسمنت هي التفاعل الكيميائي للأسمنت والماء معا بهدف الوصول إلى العجينة التي تشك وتتصلد بفعل تفاعلات وعمليات الإماهة والتى بعد تصلدها تحتفظ بقوتها. والظواهر الأساسية الهامة للتفاعل الكيميائي بين الأسمنت والماء والتى لها أهمية كبرى عند مستخدمي الأسمنت هى:

- التغير فى المادة: لمعرفة العناصر المتكونة عند تفاعل الأسمنت لأن الأسمنت فى حد ذاته لا يمثل مادة أسمنتية، ولكن المتانة المتكونة بعد عملية الإماهة هى الهدف الأساسي من الأسمنت.
- التغير فى الطاقة: لمعرفة كمية الحرارة المنبعثة لأهميتها حيث أن هذه الحرارة قد تكون ضارة أو نافعة.
- سرعة التفاعل: لتحديد الزمن اللازم للشك والتصلد.

ولدراسة هذه المظاهر الهامة يجب إدراك المفاهيم الأربع الآتية:

- ميكانيكية الإماهة (Mechanism of hydration)
- التفاعلات الأساسية للإماهة (Main hydration reactions)
- حرارة الإماهة (Heat oh hydration)
- طبيعية عملية إماهة الأسمنت (Physical process of hydration)

٢-٤-١ ميكانيكية الإماهة Mechanism of hydration

عندما تبدأ عملية الإماهة للأسمنت البورتلاندى فإنها تعنى ذوبان المركبات المائية إلى مكوناتها الأيونية، لتكون مواد مماهة فى المحلول، ولأن قدرة هذه المواد المماهة ضعيفة على الذوبان فإنها تترسب فى المحلول فائق التشبع. وهنا تتضح سيادة ميكانيكية الإماهة خلال المحلول فى المراحل الأولى لإماهة الأسمنت والتى تتكون فيها بلورات الهيدرات مثل الإترنجيت وأحادي الكبريتات من تفاعل ثالث ألومينات الكالسيوم، لأن إماهة الألومينات تتم بمعدل أسرع من السيليكات وبعدها يبدأ التفاعل بسرعة. وعندما تحد الأيونات من حركتها فى المحلول، فتتم إماهة حبيبات الأسمنت المتبقية بواسطة التفاعل فى الحالة الصلدة وذلك بتكون سيليكات الكالسيوم غير المماهة من تفاعل ثالث سيليكات الكالسيوم وثاني سيليكات الكالسيوم مع الماء. وتتحدد الصلادة والشك لعجينة الأسمنت من تفاعلات الإماهة المشتملة للألومينات. أما السيليكات فهي التى تلعب دوراً هاما ومسيطراً فى تحديد المقاومة والخواص المتصلدة للمونة الأسمنتية، لأن الأسمنت البورتلاندي يحتوى على حوالى ٧٥% من السيليكات. ولأهمية تفاعلات الإماهة للألومينات والسيليكات فإنه يتم دراسة كل إماهة منهما بشكل مفرد لتوضيح التفاعلات الخمس الكيميائية الأساسية خلال عملية إماهة الأسمنت البورتلاندى.

٢-٤-٢ التفاعلات الأساسية للإماهة Main Hydration Reactions

التفاعلات الكيميائية الأساسية لعملية إماهة الأسمنت تختصر فى عمليتين: إماهة الألومينات و إماهة السيليكات.

- **إماهة الألومينات**

يكون التفاعل بين ثالث ألومينات الكالسيوم (C_3A) والماء لحظيا. وتتكون بكل سرعة بلورات الهيدرات (بلورات مائية) من الإترنجيت والكبريتات الأحادية، مع تصاعد حرارة عالية من التفاعل. ويجب إبطاء التفاعل السريع لإماهة ثالث ألومينات الكالسيوم بإضافة الجبس (كبريتات الكالسيوم) لإتمام التفاعل فى وجوده. ويفضل مناقشة تفاعل الإماهة للأسمنت، لعنصر ثالث ألومينات الكالسيوم (C_3A) ورابع ألومينات حديد الكالسيوم (C_4AF) سوياً، حيث أن الناتج المتكون عندما يتفاعل رابع ألومينات حديد الكالسيوم مع الماء وفى وجود الكبريتات مشابه لتلك المكونات الناتجة من ثالث ألومينات الكالسيوم وهنا يعتمد الدور الذى تلعبه ألومينات الحديد فى الأسمنت فى تفاعلات الشك والتصلد لعجينة الأسمنت، أساسا على التركيب الكيميائي وعلى حرارة التكوين. وعموما فإن تفاعل طرد الفيريت أبطأ من ثالث ألومينات الكالسيوم، إلا أنه يزداد بزيادة نسبة الألومينات وانخفاض درجة الحرارة وغالبا فى البداية تتكون بلورات هيدرات الإترنجيت نتيجة نسبة الكبريتات العالية إلى الألومينات خلال الساعات الأولى من الإماهة. ويضيف ترسيب الإترنجيت فى الأسمنت البورتلاندى الذى يحتوى على ٥% جبس إلى التصلب حتى فقد السيولة وتجمد العجينة حتى الشك وأيضا إلى نمو المقاومة المبكرة. وهنا يصبح الإترنجيت غير متزن ويتحول إلى كبريتات أحادية بالتدريج وهى المنتج النهائي لإماهة الأسمنت البورتلاندى والذي يحتوى على نسبة من ثالث ألومينات الكالسيوم أكثر من ٥%.

ويمكن التعبير عن التفاعلات الكيميائية المرادفة لعمليات إماهة الألومينات بالمعادلات التالية:

$$C_3A + 26\,H + 3C\,S'H_2\ (gypsum) \longrightarrow C_3A.3CS'H_{32}\ (Ettringite)$$

ثالث ألومينات الكالسيوم + ماء + جبس ⟵ إترنجيت.

$$C_3A + 10\,H + CsH_2 \xrightarrow{Ettringite} C_3A.CSH_{12}\ (monosulfate)$$

ثالث ألومينات الكالسيوم المتبقية + ماء + جبس $\xleftarrow{\text{إترنجيت}}$ أحادى الكبريتات.

$$C_4AF + 10H + 2CH \longrightarrow C_6AF\,H_{12}$$

رابع ألومينات حديد الكالسيوم + ماء + هيدروكسيد كالسيوم ⟵ فيريت

• إماهة السيليكات

إن إماهة السيليكات تنحصر فى تفاعل ثالث سيليكات الكالسيوم (C_3S) وثاني سيليكات الكالسيوم (C_2S) والتي تنتج مجموعة من هيدرات سيليكات الكالسيوم متشابهة فى التكوين، ولكنها تتفاوت فى نسبة الكالسيوم/السيليكا ومحتوى الماء المتحد كيميائيا. وهذا الاختلاف التركيبي بين سيليكات الكالسيوم المماهة إن وجد له تأثير بسيط على الخواص والصفات الطبيعية للأسمنت المتصلد. وعموما تعتبر سيليكات الكالسيوم المماهة مادة فقيرة البلورة وتكون مادة صلبة نسبياً بها فجوات ولها صفات الجيلاتين. ويتغير التركيب الكيميائي لسيليكات الكالسيوم المماهة فى الأسمنت البورتلاندي المماه تبعاً لـ:

- نسبة الماء/ الأسمنت
- حرارة الإماهة
- عمر الإماهة

ويتم التعبير عن التفاعل لثالث سيليكات الكالسيوم وثاني سيليكات الكالسيوم المماهة بالمعادلتين الآتيتين:

$$2C_3S \text{ (Alite)} + 6H \longrightarrow C_3S_2H_3 \text{ (Calcium Silicate Hydrate)} + 3CH$$

ثالث سيليكات الكالسيوم (الأليت) + ماء ⟵ سيليكات الكالسيوم المماهة + هيدروكسيد كالسيوم

$$2C_2S \text{ (Belite)} + 4H \longrightarrow C_3S_2H_3 \text{ (Calcium silicate Hydrate} + CH$$

ثاني سيليكات الكالسيوم (البليت) + ماء ⟵ سيليكات الكالسيوم المماهة + هيدروكسيد كالسيوم

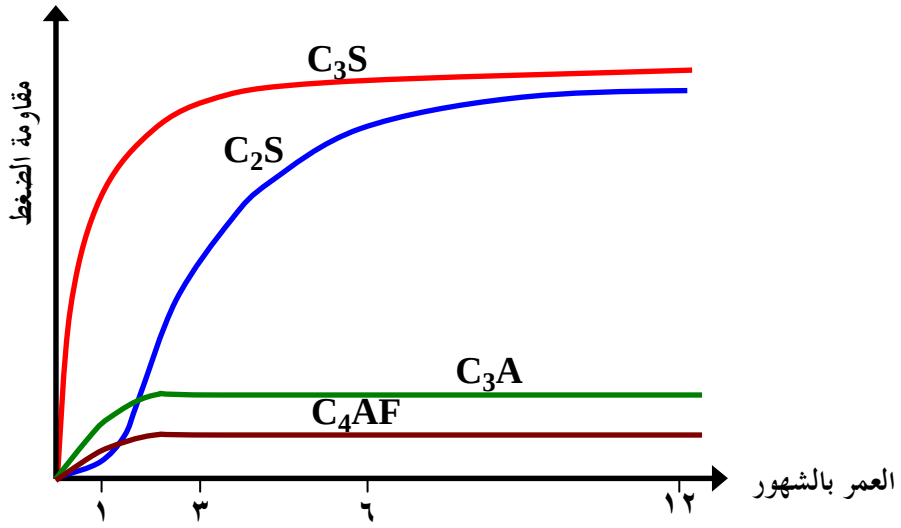
ويلاحظ فى هذا التفاعل أن إماهة ثالث سيليكات الكالسيوم C_3S ينتج عنه:

- ٦١% سيليكات الكالسيوم المماهة.
- ٣٩% هيدروكسيد الكالسيوم.

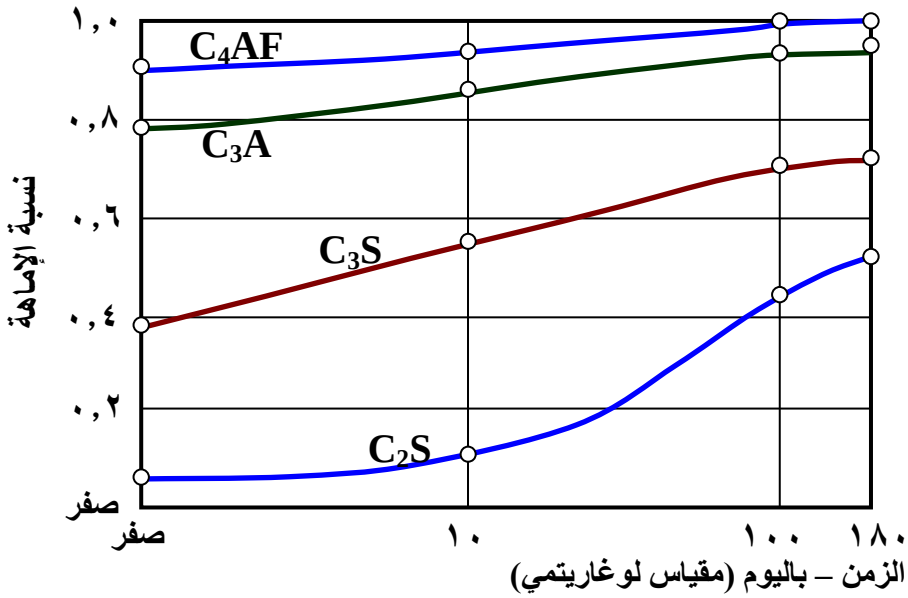
و إماهة ثاني سيليكات الكالسيوم C_2S ينتج عنه:

- ٨٢% سيليكات الكالسيوم المماهة.
- ١٨% هيدروكسيد الكالسيوم.

والشكل (٢-٩) يبين تأثير المركبات المختلفة للأسمنت على مقاومة الأسمنت للضغط. أما الشكل (٢-١٠) فيوضح معدل الإماهة للمركبات الأساسية من الأسمنت.



شكل (٢-٩) تأثير مركبات الأسمنت على مقاومته للضغط



شكل (٢-١٠) معدل الإماهة لمركبات الأسمنت الرئيسية

ومن هنا يتضح أن:

- **المقاومة القصوى للأسمنت البورتلاندى المحتوى على نسبة أعلى من ثالث سيليكات الكالسيوم يكون أقل من مقاومة الأسمنت المحتوى على نسبة أعلى من ثاني سيليكات الكالسيوم (لأن الناتج من سيليكات الكالسيوم المماهة لتفاعل ثاني سيليكات الكالسيوم أكبر من تفاعل ثالث سيليكات الكالسيوم).**

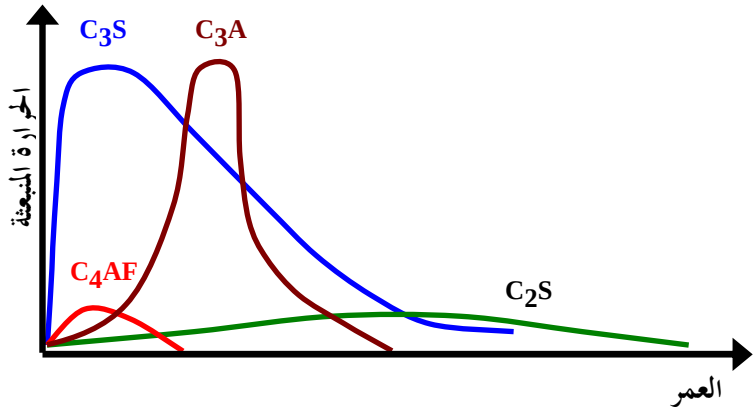
- **أن الأسمنت المحتوى على نسب عالية من ثاني سيليكات الكالسيوم يكون أكثر تحملا فى البيئات الحامضية والكبريتية عن الأسمنت المحتوى على نسب عالية من ثالث سيليكات الكالسيوم بالمقارنة بثاني سيليكات الكالسيوم، وزيادة هيدروكسيد الكالسيوم تؤثر بشكل فعال على قوة تحمل عجائن الأسمنت المتصلد فى البيئة الحامضية أو الكبريتية).**

- **أن ثالث سيليكات الكالسيوم يماه بمعدلات أسرع من إماهة ثاني سيليكات الكالسيوم حيث أن ثالث سيليكات الكالسيوم يبدأ فى التفاعل فى حدود الساعة من لحظة إضافة الماء إلى الأسمنت، ولذلك فإنه يحتمل أن يساعد فى زمن الشك النهائي للأسمنت وبالأخص مع وجود الجبس.**

- **يعتبر الأسمنت المحتوى على نسب عالية من ثالث سيليكات الكالسيوم أكثر استخدما فى العناصر المطلوب لها مقاومة مبكرة عالية بالمقارنة بالأسمنتات المحتوية على نسب عالية من ثاني سيليكات الكالسيوم.**

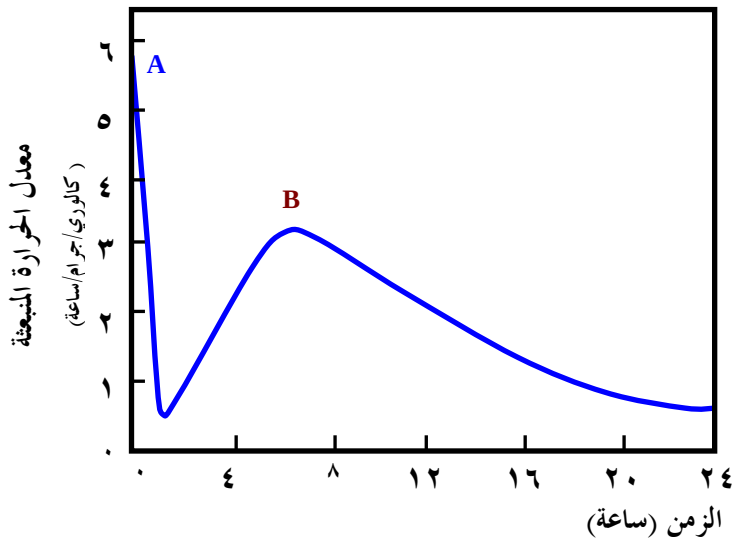
٢-٤-٣ حرارة الإماهة (Heat of Hydration)

أثناء التفعال الكيميائي بين مركبات الأسمنت مع الماء (إماهة الأسمنت) فتتكون حالات من الطاقة المختلفة والتى تخرج على هيئة حرارة حيث أن مركبات الأسمنت الأربعة المختلفة أثناء الإماهة تعطى منتجات غير متزنة ذات حرارة تفاعل مختلفة وعالية ولذلك فهي فى حالة طاقة مستمرة ويبين الشكل (٢-١١أ) كمية الحرارة المنبعثة والمتولدة من تفاعل كل مركبات الأسمنت البورتلاندى بعد الإماهة كل على حده.



شكل (٢-١١أ) الحرارة المنبعثة أثناء الإماهة من تفعل مركبات الأسمنت

ويمكن أيضا التعبير عن حرارة الإماهة بمعدل انبعاث الحرارة من إماهة المركبات المنفردة لتحديد سلوك شك وتصلد الأسمنت، حيث أن شكل (٢-١١ب) يوضح معدلات انبعاث الحرارة من عجينة الأسمنت البورتلاندى خلال مرحلة الشك والتصلد المبكر. وبشكل عام عند خلط الأسمنت بالماء يحدث انبعاث سريع للحرارة يظهر بالشكل المبين عند الدورة **(a)** وحيث أن هذه الحرارة تستمر لعدة دقائق وذلك من حرارة سوائل الألومينات والكبريتات. ثم تنخفض الحرارة بعد ذلك عندما تقل ذوبان الألومينات مع وجود الكبريتات فى المحلول، حيث أنه يحدث ذلك فى مرحلة الشك الابتدائي. ثم يبدأ الانبعاث فى دورة ثانية **(b)** بعد حوالى من ٤ إلى ٨ ساعات وتلك الحرارة ممثلة فى حرارة تكون الإترنجيت. والدورة **(b)** عموما تمثل الشك النهائي للأسمنت وبداية التصلد المبكر لعجينته.

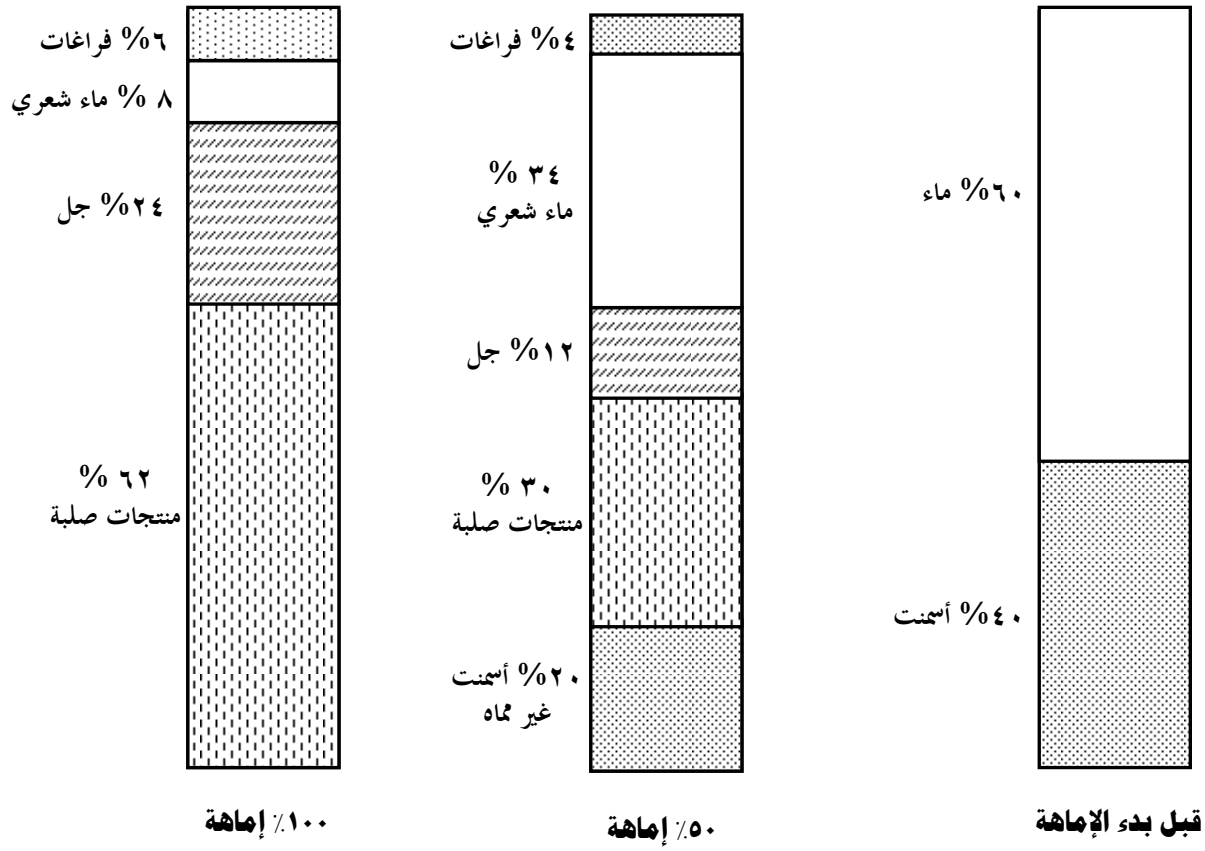


شكل (٢-١١ب) معدل انبعاث الحرارة من عجينة الأسمنت

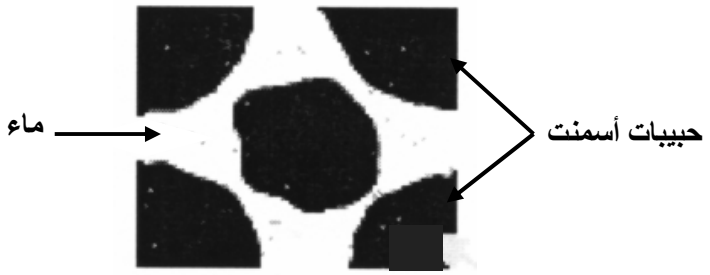
وعموما تمثل حرارة الإماهة عائقا فى حالة المنشآت الخرسانية الكتلية، وعليه فإنه يجب الاحتياط من استخدام الأسمنت بكميات كبيرة أو من النوع البورتلاندى العادي، كما فى الخرسانة الكتلية المستخدمة فى السدود والخزانات لأنه بارتفاع الحرارة داخل هذه الكتل الضخمة ربما يسبب تشققات كثيرة داخل الخرسانة، ولذلك يفضل استخدام أسمنت بورتلاندى منخفض للحرارة. ومع أن حرارة الإماهة عائقا فى بعض الحالات إلا أنها ممكن أن تكون مساعداً فعالاً للخرسانة المستخدمة فى الأجواء الباردة أو المنخفضة الحرارة فى الشتاء لتنشيط طاقة التفاعلات الكيميائية أثناء الإماهة.

٢-٤-٤ طبيعية عملية إماهة الأسمنت (Physical process of hydration)

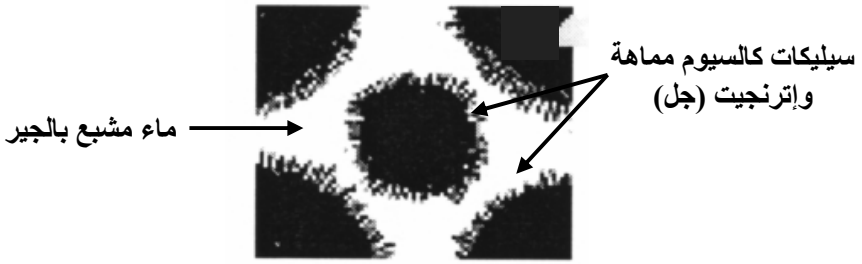
لمعرفة وفهم التفاعلات الكيميائية الحادثة فى عملية الإماهة فإنه يجب أن نلاحظ المظاهر الطبيعية للتفاعلات أثناء عملية الإماهة للأسمنت، لكي يزداد الفهم والإدراك للتركيب البنائي لمراحل تكوين العجينة الأسمنتية المتصلدة كما هو موضح فى شكل (٢-١٢أ). وعموماً تمر المظاهر الطبيعية لعملية الإماهة بأربع مراحل متتالية يمكن تمثيلها كما هو مبين بالشكل (٢-١٢ب).



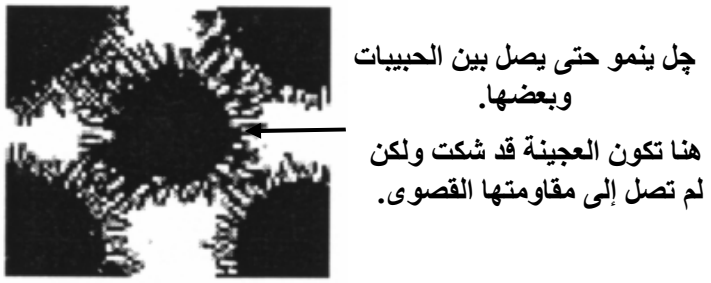
شكل (٢-١٢أ) النسب الحجمية لمكونات العجينة الأسمنتية عند مراحل مختلفة من الإماهة



(A) بعد خلط الأسمنت بالماء مباشرة



(B) بعد ساعتين من إضافة الماء



(C) بعد يوم من إضافة الماء

(D) بعد سبعة أيام أو أكثر

شكل (٢-١٢ب) المظاهر الطبيعية لعملية إماهة الأسمنت

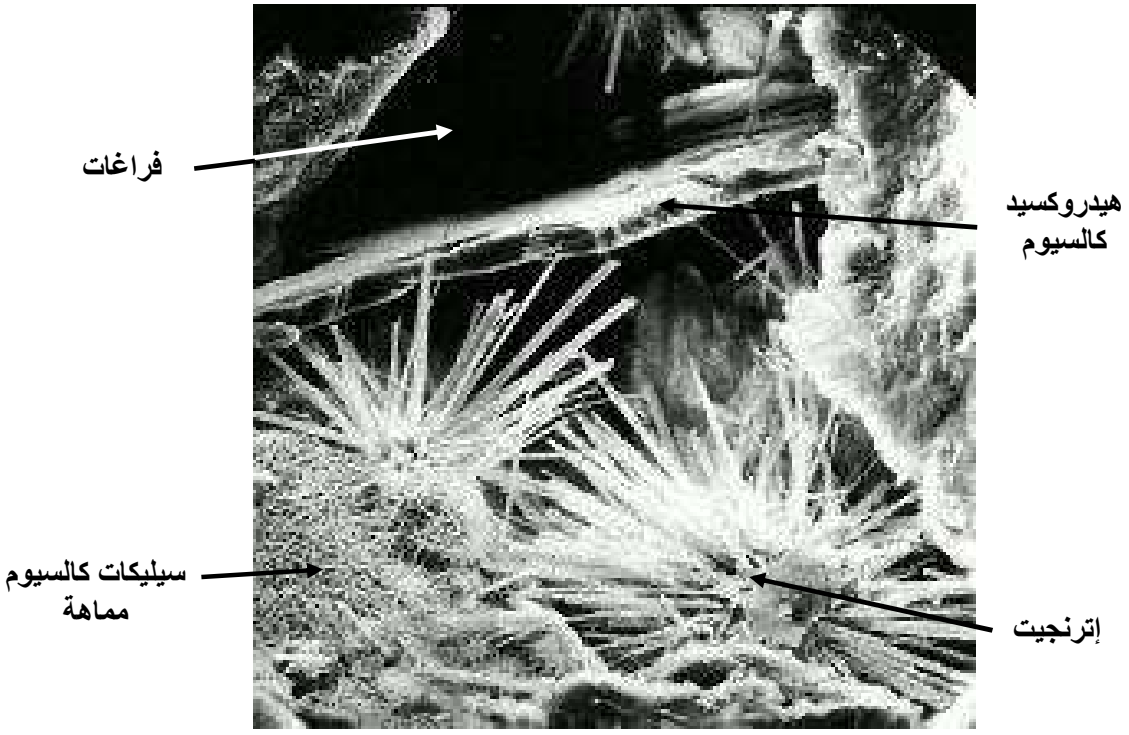
وفيما يلي وصف مختصر لهذه المراحل لفهم خطوطها كما يلي:

- المرحلة الأولى: بعد خلط الأسمنت بالماء مباشرة تتكون عجينة أسمنتية بحالتها اللدنة، وفيها تنتشر حبيبات الأسمنت فى ماء الخلط وتظهر على مسافات من بعضها يتخللها الماء، وتمدد تلك المسافات طبقا لنسبة الماء الأسمنت بالخليط (w/c) ويوضح شكل (٢-١٢-A) مرحلة انتشار الحبيبات الأسمنتية فى الماء، حيث أن نسبة الماء/الأسمنت تلعب دوراً هاماً فى عملية الإماهة للأسمنت وكذلك فى التأثير على خواص الخرسانات الناتجة. ويطلق على هذه المرحلة الحالة الطازجة للعجينة الأسمنتية.

- المرحلة الثانية: وفى هذه المرحلة تتحول العجينة الأسمنتية إلى درجة أقل من السيولة ولكن العجينة ما زالت قابلة للتشغيل، وهنا تبدأ منتجات تفاعلات مركبات الأسمنت المماهة مثل الإترنجيت (من الألومينات) وسيليكات الكالسيوم المماهة (من السيليكات) فى التكوين حول وعلى سطح حبيبات الأسمنت المنتشرة، كما هو موضح بالشكل (٢-١٢-B). ويصبح الماء فى هذه المرحلة مشبع بالجير. وهذه المرحلة تتم بعد ساعتين تقريبا من بداية الخلط.

- المرحلة الثالثة: تبدأ البنية الداخلية (من سيليكات الكالسيوم المماهة والاترنجيت و هيدروكسيد الألمونيوم) تظهر وتنمو على سطح حبيبات الأسمنت مكونة جسوراً بين الحبيبات فى الفجوات والثغرات الموجودة بين الحبيبات كما هو موضح بالشكل (٢-١٢-C). وهنا تكون العجينة قد تصلدت ووصلت إلى الشك النهائي بعد يوم واحد ولكن لم تصل إلى مقاومتها الكلية النهائية (على الرغم من أنه أحياناً يتم فك الفرم والشدات بعد يوم واحد فقط لأغراض كثيرة) وتظهر البنية الداخلية والمكونة من سيليكات الكالسيوم المماهة وبلورات هيدروكسيد الكالسيوم والاترنجيت بكثافة عالية فى هذه المرحلة كما هو مبين بالشكل (٢-١٣).

- المرحلة الرابعة: وهذه المرحلة بعد ٧ أيام وما بعدها، تكون منتجات عملية الهدرجة من سيليكات الكالسيوم المماهة والاترنجيت و هيدروكسيد الكالسيوم قد ملأت المسام الدقيقة بين الحبيبات ومستمرة فى ذلك مع زيادة الأيام مكونة كتلة أكثر كثافة قليلة المسام، حيث يتضح ذلك بالشكل (٢-١٢-D). عند السبعة أيام قد تصل مقاومة العجينة للضغط إلى حوالى ٧٠% من مقاومتها المطلوبة.



شكل (٢-١٣) تمثيل البنية الداخلية لمركبات الأسمنت

٢-٥ إنتاج الأسمنت فى مصر

شهدت السنوات الأخيرة تطوراً كبيراً فى صناعة الأسمنت فى جمهورية مصر العربية حيث زادت الطاقة التصميمية لمصانع الأسمنت فى عام ٢٠٠٤ إلى ما يقرب من ٣٨ مليون طن. ووصل الإنتاج الفعلي للأسمنت فى نفس الفترة إلى ٢٨,٨ مليون طن. وأكثر أنواع الأسمنت شيوعاً واستخداماً فى مصر هو الأسمنت البورتلاندي العادي يليه الأسمنت المقاوم للكبريتات ثم الأسمنت سريع التصلد والأسمنت منخفض الحرارة والأسمنت الحديدي. وحالياً تتجه بعض الشركات إلى إنتاج الأسمنتات المركبة والتي تحتوي على نسبة عالية من المواد الإحلالية البديلة لجزء من كلنكر الأسمنت وذلك بغرض التصدير كما سيأتي ذكره لاحقاً. الجدول (٢-٢) يلخص أسماء شركات الأسمنت فى مصر والأعضاء فى الاتحاد العربي للأسمنت ومواد البناء حتى عام ٢٠٠٤، والطاقة التصميمية لها وكذلك الإنتاج الفعلي لكل شركة.

جدول (٢-٢) إنتاج الأسمنت فى مصر خلال عام ٢٠٠٤

اسم الشركة المنتجة	الإنتاج بـ ١٠٠٠ طن	
	الطاقة التصميمية	الإنتاج الفعلي
شركة أسمنت سيناء	١٥٠٠	١١٨٩
شركة السويس للأسمنت	٤٢٠٠	٢٤٧٢
شركة أسمنت بورتلاندي طره	٤٥٤٦	٢٣٢٤
شركة الأسكندرية لأسمنت بورتلاند	٢٣٠٠	٢٤٧٢
شركة أسمنت العامرية	٤٠٠٠	٢٠٤٧
شركة أسمنت أسيوط (سيميكس مصر)	٤٧٥٢	٣٣٧٥
شركة أسمنت بني سويف	١٤٠٠	١٢٧٧
الشركة المصرية للأسمنت	٧٨٠٠	٦٤٧٩
شركة أسيك للأسمنت (حلوان)	٣٨٠٠	٢٠٧٢
شركة مصر للأسمنت (قنا)	١٤٠٠	١٠٧٣
الشركة القومية للأسمنت	٣٧٧٥	٢٧١٠
إجمالي الإنتاج المحلي	٣٨٢٠٠	٢٨٧٦٣

الجدول (٢-٣) يلخص الطاقة التصميمية والإنتاج الفعلي من الأسمنت للدول العربية فى عـــام ٢٠٠٤. ونلاحظ من الأرقام أن هناك دولاً تنتج بكامل طاقتها التصميمية مثل لبنان وقطر وهناك دولاً أخرى يزيد الفارق بين الطاقة التصميمية والإنتاج الفعلي بدرجة كبيرة مثل العراق مثلاً (نتيجة الاحتلال الأمريكـــي لها). ومصدر هذه البيانات هو موقع الاتحاد العربي للأسمنت ومواد البناء.

جدول (٢-٣) إنتاج الأسمنت فى بعض الدول العربية خلال عام ٢٠٠٤

الدولة	الإنتاج بـ ١٠٠٠ طن	
	الطاقة التصميمية	الإنتاج الفعلي
جمهورية مصر العربية	٣٨٢٠٠	٢٨٧٦٣
المملكة العربية السعودية	٢٥٥١٣	٢٢٧٣٣
الإمارات العربية المتحدة	١١١٠٠	٩٨٠٠
الجمهورية العربية السورية	٥٣١٠	٤٧٥٧
الأردن	٤٩٦٣	٣٦١٣
ليبيا	٦١٣٠	٣٢٨٦
لبنان	٥٠٠٠	٥٠٠٠
الكويت	٢٩٠٠	٢١٤٥
العراق	١٤٠٣٩	١٣١٦
تونس	٧٤٥٠	٧٠٥٨
الجزائر	١٣٥٠٠	١١٢٩٦
المغرب	١٠٢٠٨	٩٧٩٦
قطر	١٥٠٠	١٥٠٠
البحرين	٣٤٦	١٩٠
عمان	٢٦٢١	٢٠٤٨
اليمن	١٥٧٣	١٢٧٥
السودان	٥١٠	٢٧٢
موريتانيا	٥٤٥	٣٠٠

وعموماً فإن الجدول الآتي (رقم ٢-٤) يوضح أهم أنواع الأسمنتات المنتجة فى مصر واستخداماتها وأهم ما يميزها.

جدول (٢-٤) أنواع الأسمنتات المنتجة فى مصر: تكويناتها وخواصها واستخداماتها

النوع	التركيب والخواص	الاستخدامات الأساسية
الأسمنت البورتلاندى العادي	- محتوى الجبس لا يزيد عن ٥% - لا يزيد معامل تشبع الجير عن ١,٠٢ ولا يقل عن ٠,٦٦. ويعنى الحد الأعلى له عدم تواجد الجير الحي بكميات كبيرة مسببا عدم ثبات حجم الأسمنت. - محتوى الماغنسيوم لا يزيد عن ٤% - المواد غير القابلة للذوبان لا تزيد عن ١,٥% - الفاقد بالحريق لا يزيد عن ٣% فى المناطق ذات الجو المعتدل وعن ٤% فى المناطق الحارة. - تصل مقاومة الضغط لهذا الأسمنت إلى قيم عالية بعد ٢٨ يوم، ثم تزداد بمعدل طفيف بعد ذلك.	١- أكثر أنواع الأسمنت استخداماً وشيوعاً ٢- مناسب للاستخدام فى الإنشاءات الخرسانية العامة عندما لا تكون الخرسانة معرضة لتأثير الكبريتات من التربة أو المياه الجوفية أو الجو المحيط.
الأسمنت البورتلاندى سريع التصلد (الأسمنت البورتلاندى مبكر المقاومة)	- لهذا الأسمنت نفس خواص الأسمنت العادي من ناحية زمن الشك ، ولكن له سرعة تصلد عالية (أو مبكرة المقاومة) عن الأسمنت السابق. - يتم الحصول على المقاومة المبكرة بازدياد محتوى ثالث سيليكات الكالسيوم الذى قد يصل إلى أكثر من ٧٠%، وبازدياد النعومة والتى لا يجب أن تقل عن ٣٢٥م^2 /كجم. - لا تختلف متطلبات ثبات الحجم و التركيب الكيميائي عن متطلبات الأسمنت البورتلاندي العادي.	١- يستخدم فى حالة طلب نمو سريع لمقاومة الخرسانة مثل عند ضرورة إزالة الفرم بسرعة لإعادة الاستخدام، أو عندما تلزم المقاومة المبكرة لاستمرارية وسرعة التنفيذ. ٢- قد تكون زيادة تكلفة هذا الأسمنت مع سرعة إزالة الفرم اقتصاديا بوجه عام. ٣- يفيد هذا الأسمنت نظرا لزيادة حرارة اما هته فى المناطق الباردة

الأسمنت البورتلاندى المقاوم للكبريتات	– يستخدم فى هذا الأسمنت محتوى منخفض من ثالث ألومينات الكالسيوم C_3A بحيث لا يتعدى ٣,٥%. – الحد الأدنى لنعومة هذا الأسمنت ٢٥٠ م^2/كجم. – كل متطلبات الأسمنت البورتلاندى العادي الأخرى تنطبق على الأسمنت المقاوم للكبريتات. – يعتبر فعل كبريتات الكالسيوم صغير كلما صغرت النسبة Al_2O_3 : Fe_2O_3 وبذلك يضاف Fe_2O_3 إلى خليط الأسمنت لتصغير هذه النسبة حيث يصعب التحكم فى محتوي Al_2O_3 ويؤدي ذلك إلى ازدياد C_4AF على حساب C_3A – لم يتضح بعد دور C_4AF فى هذا الأسمنت. – يعنى تواجد نسب منخفضة من C_3A و C_4AF فى الأسمنت المقاوم للكبريتات ، ازدياد محتوى السيليكات ويعطى تواجد C_2S بنسب عالية انخفاضا للمقاومة المبكرة. – لا تزيد كثيراً حرارة انبعاث الأسمنت البورتلاندى المقاوم للكبريتات عن الأسمنت منخفض الحرارة.	١– يستخدم هذا النوع من الأسمنت عند تعريض الخرسانة إلى أملاح الكبريتات فى التربة أو المياه الجوفية. ٢– غير مناسب للاستخدام عندما تكون أملاح الكلوريدات هي الغالبة فى التربة أو المياه الجوفية أو مياه البحر. ٣– يعتبر هذا الأسمنت منخفض حرارة الانبعاث ، إلا أنه أكثر تكلفة. عموماً تتكون ألومينات الكالسيوم الكبريتية (الإترنجيت) من تفاعل ثالث ألومينات الكالسيوم مع الجبس. ويمكن أن تتفاعل فى الخرسانة الصلدة ألومينات الكالسيوم المماهة مع أملاح الكبريتات الموجودة بخارج الخرسانة بنفس الصورة منتجاً الإترنجيت من خلال عجينة الأسمنت المماهة . – ينتج عن ذلك زيادة فى حجم الجوامد بمقدار ٢٢٧% مما يؤدي إلى تحلل الخرسانة. – ينتج كذلك تفاعل آخر بين الهيدروكسيدات والكبريتات ليعطى الجبس مع ازدياد حجم الجوامد بنسبة ١٢٤%.

الأسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة	- كلما انخفضت محتويات C_3S ، C_3A فى الأسمنت كلما تسببت ذلك فى نمو مقاومة بطيئة للأسمنت منخفض الحرارة بالمقارنة بالأسمنت البورتلاندى العادي إلا أن المقاومة القصوى لهما لن تختلف. - لا تقل المساحة النوعية له عن ٣٢٠ م^2/كجم - يلزم ألا يتعدى محتوى الجير (CaO) للأسمنت البورتلاندى منخفض الحرارة الحدود المنصوص عليها فى المواصفات.	١- يستخدم هذا الأسمنت لخفض حرارة الإماهة فى الخرسانة الكتلية والتى قد تؤدى إلى شروخ خطيرة وخصوصاً لخرسانة السدود الكبيرة. ٢- يوجد أسمنت بورتلاندى عادى معدل له معدل نمو للحرارة أعلى، عن الأسمنت منخفض الحرارة ولكن له معدل نمو مقاومة مماثل للأسمنت البورتلاندى العادي ويناسب هذا الاستخدام فى الإنشاءات التى يلزم لها حرارة انبعاث منخفضة ، أو عندما يوجد مهاجمة متوسطة بالكبريتات أو مهاجمة عالية بالكلوريدات.
الأسمنت البورتلاندي الحديدي	- ينتج هذا الأسمنت بواسطة الطحن المشترك لكلنكر الأسمنت البورتلاندى مع خبث الأفران العالية المحبب بحيث لا يزيد محتوى الأخير عن ٦٥%. يضاف الجبس إلى الخليط للتحكم فى زمن شك الأسمنت - الخبث هو ناتج بجانب إنتاج الحديد المصبوب تقريباً بنفس النسب وهو خليط من الجير والسيليكا والألومينا ويتكون الخبث من ٤٢% جير، ٣٠% سيليكا، ١٣% ألومينا، ٥% ماغنسيوم، ١% قلويات، ويلزم لهذا الخبث أن يسقى حتى يتحول إلى زجاجي بدون أن يتبلور ويتسبب التبريد السريع له إلى تحطمه إلى شكل محبب. - درجة حرارة هذا الأسمنت منخفضة عن الأسمنت العادي ولذلك يمكن اعتباره أسمنتاً منخفض الحرارة ويستخدم فى الخرسانة الكتلية. - متطلبات مواصفات هذا الأسمنت مماثلة لنفس متطلبات الأسمنت البورتلاندى العادي، إلا أن معدل تصلد الأسمنت الحديدي أقل من الأسمنت العادي خلال الثماني وعشرون يوماً الأولى.	١- لا يستخدم فى الأجواء الباردة. ٢- يستخدم فى مقاومة ماء البحر. ٣- يقاوم الكبريتات بطريقة معتدلة حيث تنخفض نسبة C_3A به. ٤- لخواص الزحف والانكماش ومعايير المرونة نفس قيم الأسمنت البورتلاندى العادي. ٥- يتطلب إنتاجه طاقة أقل.

الأسمنت المخلوط (الكرنك)	– هو أسمنت ناتج بخلط كلنكر الأسمنت البورتلاندى العادي مع أكثر من ٢٥% رمل سيليسي مطحون. – ثالث أكسيد الكبريت لا يزيد عن ٣% – نعومة هذا الأسمنت ٣٠٠ م^{٢}/كجم – لا يقل زمن الشك الابتدائي عن ٤٥ دقيقة – لا يزيد زمن الشك النهائي عن ١٠ ساعات – الحد الأقصى لتجربة ثبات الحجم (لوشاتيليه) ١٠مم – الحد الأقصى للفاقد بالحريق ٥% – الحد الأقصى المتبقي غير القابل للذوبان ٢٦%. – الحد الأقصى للماغنسيوم ٤% – مقاومة الضغط للمونة القياسية : لا تقل عن ١٢٠ كجم/سم^{٢} بعد ٣ أيام لا تقل عن ٢٠٠ كجم/سم^{٢} بعد ٧ أيام لا تقل عن ٢٧٠ كجم/سم^{٢} بعد ٢٨ يوم	١– يستخدم هذا الأسمنت فى أعمال البياض وما يماثل ذلك. ٢– لا يستخدم هذا الأسمنت فى أعمال الخرسانة المسلحة. ٣– أرخص نسبياً من أنواع الأسمنت الأخرى.

٢-٦ خواص واختبارات الأسمنت البورتلاندى الطبيعية والميكانيكية

يوجد الكثير من المعلومات عن الخواص الطبيعية والميكانيكية للأسمنت البورتلاندي حيث تعتبر هذه الخواص هي الأساس الذي يعتمد عليه فى الحكم على قبول أو رفض استخدام هذا الأسمنت بكل صوره وأشكاله. ولكي يسهل تصنيف وتقسيم خواص وطرق اختبار الأسمنت فيجب أن نأخذ فى الاعتبار الحالة التى يكون عليها الأسمنت مثل:-

١- الأسمنت الجاف (كمسحوق فقط)
٢- عجينة الأسمنت (أسمنت وماء)
٣- مونة الأسمنت (أسمنت ورمل وماء)
٤- خرسانة الأسمنت (أسمنت وركام ناعم وركام خشن وماء)

وهنا سيتم دراسة الأسمنت البورتلاندى لحالات مسحوق الأسمنت الجاف و عجينة الأسمنت ومونة الأسمنت فقط أما الحالة التى يكون فيها الأسمنت فى الخرسانة يتم دراستها مع خواص واختبارات الخرسانة. ونستخلص من هذا أن الخواص الرئيسية للأسمنت البورتلاندى والتى يجب أن نقف عندها للحكم على جودة الأسمنت هي:

١- نعومة الأسمنت.
٢- الكثافة النوعية للأسمنت.
٣- الشك والتصلد.
٤- ثبات الحجم للأسمنت
٥- مقاومة الأسمنت.

ولكن مع أن هذه الخواص هى الأساسية للحكم على الأسمنت ولها طرق اختبارات قياسية لتعينها بكل دقة، إلا أنه توجد خواص أخرى يجب الاهتمام بها بحثيا وعلمياً سواء كانت تشملها أو لا تشملها المواصفات القياسية بغرض تطوير إنتاج وتصنيع واستخدامات تلك المادة الفعالة فى مجال الأعمال الإنشائية.

٢-٦-١ خواص واختبارات مسحوق الأسمنت الجاف

هنا يتم دراسة خاصتين مهمتين وهما: نعومة الأسمنت والكثافة النوعية للأسمنت (الوزن النوعي) بالإضافة إلى تعيين الوزن الحجمى للأسمنت.

نعومة الأسمنت

تؤثر نعومة حبيبات الأسمنت على معدل ومدى تفاعل حبيبات الأسمنت مع الماء، فبزيادة نعومة حبيبات الأسمنت تزداد المساحة السطحية النوعية له مما يوفر مساحة أكبر لالتقاء وتفاعل الماء مع وزن محدد من الأسمنت، كما أن سرعة اكتمال عملية التفاعل مع الماء تعتمد على مقاس حبيبات الأسمنت حيث يصعب وصول الماء إلى قلب الحبيبات الكبيرة مما قد يسبب تفاعل القلب الداخلي لحبيبات الأسمنت فى أزمنة متأخرة وقد يصحب ذلك عدم ثبات حجم الأسمنت. كما أنه أيضاً قد يسبب كبر حجم الحبيبات عدم تفاعل قلبها تماماً مما يؤدى إلى ضعف فى المقاومة لنفس محتوى الأسمنت. وعموماً فإن زيادة نعومة الأسمنت تحسن كلا من:

- قابلية التشغيل.
- الترابط والتماسك بين حبيبات الأسمنت والركام.
- مقاومة الضغط.
- التحمل مع الزمن.
- تقلل من ظاهر النضح.

وقد نصت معظم الموصفات الخاصة بالأسمنت البورتلاندى بأنه يتم تعيين درجة نعومة الأسمنت بطريقتين

- بطريقة المنخل رقم ١٧٠
- بطريقة المساحة السطحية النوعية باستخدام جهاز بلين.

اختبار تعيين نعومة الأسمنت باستخدام منخل رقم ١٧٠
Fineness of Cement by the sieve NO. 170

إن الغرض الأساسي من اختبار تعيين نعومة الأسمنت باستخدام المنخل رقم ١٧٠ (٩٠ ميكرون) التأكد من عدم وجود نسبة كبيرة من الحبيبات التى تحجز على المنخل ١٧٠ لأنه قد وجد أن حبيبات الأسمنت ذات المقاس الأكبر من ٠,٠٩مم (٩٠ميكرون) لا تتفاعل بصورة تامة مع الماء ولذلك يلزم التأكد من أن الأسمنت لا يحتوى على نسبة كبيرة من هذه الحبيبات. ولكن هذا الاختبار لا يستخدم كاختبار قبول أو رفض للأسمنت. ولكن لضبط جودة الأسمنت ، يجب أن تكون نسبة المتبقي على المنخل ١٧٠ لا تزيد عن ١٠% بالوزن للأسمنت البورتلاندى العادي ولا تزيد عن ٥% للأسمنت سريع التصلد.

- **الأجهزة المستخدمة**

١- منخل الاختبار: مكون من إطار قطرة من ١٥٠ إلى ٢٠٠مم وعمقه من ٤٠ إلى ١٠٠مم ومصنوع من مادة غير قابلة للتآكل، ويزود الإطار بمنخل مقاس فتحته ٠,٠٩مم (٩٠ ميكرون) مصنوع من نسيج الصلب أو الأسلاك المقاومة للصدأ أو التآكل، ويزود المنخل بصينية توضع تحته لمنع فقد المادة أثناء النخل. ويبين الشكل (٢-١٤) صورة للمنخل القياسي ١٧٠.

شكل (٢-١٤) المنخل القياسي ١٧٠ والصينية السفلية.

٢- ميزان: يزن حتى ١٠٠جرام بدقة ١٠ ملليجرام.

- **خطوات الاختبار**

تقاس نعومة الأسمنت بنخله على منخل ١٧٠ ثم تحدد نسبة الأسمنت المحتجزة فوق المنخل كما يلي:

١- تؤخذ عينة مقدارها ٥٠ جرام من الأسمنت موزونة لأقرب ٠,١ جرام .

٢- ترج عينة الأسمنت تحت الاختبار لمدة دقيقتين فى زجاجة مغلقة لتفكيك أى تجمعات بها ثم يتم تركها دقيقتين ثم تقلب باستخدام قضيب جاف لتوزيع الحبيبات الناعمة فى الخليط.

٣- توضع الصينية تحت المنخل ويتم وضع العينة الموزونة بعناية على المنخل لتجنب فقد أي جزء منها مع تفكيك أي تجمعات بها ثم يغطى المنخل.

٤- تبدأ عملية النخل بتحريك المنخل حركات دورانية وأفقية، حتى يتم التأكد من انتهاء عملية النخل وذلك عندما لا يزيد معدل المار من المنخل عن ٠,٠٥جم / دقيقة أثناء النخل. يجمع ويوزن المتبقي فوق المنخل (w_1). ثم يتم تنظيف المنخل من أى حبيبات ناعمة جداً وعالقة به.

٥- يتم تكرر الخطوات السابقة مع ٥٠ جرام أخرى من عينة أخرى من نفس الأسمنت المختبر ويحدد الوزن المتبقي (w_2).

- **النتائج**:

يتم حساب النسبة المئوية للمتبقي على المنخل للعينتين كما يلي:

$$R_1 = \frac{w_1}{50} * 100$$

$$R_2 = \frac{w_2}{50} * 100$$

حيث: R_1 **: النسبة المئوية للمتبقي للعينة الأولى.**

R_2 **: النسبة المئوية للمتبقي للعينة الثانية.**

w_1 **: الوزن المتبقي على المنخل للعينة الأولى بالجرام.**

w_2 **: الوزن المتبقي على المنخل للعينة الثانية بالجرام.**

- **تحسب النسبة المئوية للمتبقي (**R_C**) من متوسط قيم** R_1 **و** R_2 **لأقرب ٠,١%**

$$R_C = \frac{R_1 + R_2}{2}$$

- **عند اختلاف النتائج بأكثر من ١% تجرى عملية تحليل ثالثة ويؤخذ متوسط الثلاث نتائج.**

اختبار تعيين نعومة الأسمنت باستخدام جهاز بلين

Determination of Fineness of Cement Using Blaine Apparatus

- **الهدف من الاختبار**

يهدف الاختبار إلى تحديد المساحة السطحية لحبيبات الأسمنت والتى تساعد على معرفة الأسمنت ومقارنة العينة المختبرة من الأسمنت بعينة مرجعية من الأسمنت معلوم لها المساحة السطحية النوعية، وتلك المساحة السطحية النوعية هى مجموع المساحات السطحية لحبيبات الأسمنت لوحدة الوزن ويتم حسابها باستخدام جهاز بلين بمعلومية الزمن اللازم لمرور كمية محددة من الهواء خلال طبقة من عينة الأسمنت ذات أبعاد ومسامية محددتين ويستخدم هذا الاختبار كاختبار أساسي للحكم على مدى صلاحية الأسمنت.

- **الأجهزة المستخدمة**

١- جهاز بلين للنفاذية: ويتكون من الأجزاء الآتية والموضحة فى شكل (٢-١٥):

- خلية النفاذية. - القرص المثقب. - المكبس.
- المانومتر. - سائل المانومتر.

٢- ساعة إيقاف.

٣- ميزان حساس.

٤- قنينة كثافة.

٥- ترمومتر.

- **خطوات الاختبار**

١- تخلط عينة الأسمنت جيداً برجها فى زجاجة لمدة دقيقتين وبعدها بدقيقتين من الرج يقلب الأسمنت باستخدام قضيب جاف نظيف وذلك لتوزيع الحبيبات الناعمة فى الخليط.

٢- تعين كثافة نفس العينة المختبرة من الأسمنت فى قنينة الكثافة وسوف توضح هذه الطريقة فيما بعد فى اختبار تعيين كثافة الأسمنت.

٣- يتم وضع السائل المانومتري فى أنبوبة مانومتر الجهاز.

٤- يتم التأكد من وجود الحاجز ذو الثقوب فى خلية النفاذية، ويتم وضع ورقة ترشيح فوق الحاجز ذو الثقوب لعدم نفاذية حبيبات الأسمنت منه.

٥- يتم وزن كمية محددة من الأسمنت بعناية بحيث تعطى طبقة أسمنتية لها مسامية محددة. ويتم وضع كمية الأسمنت الموزونة داخل الخلية فوق ورقة الترشيح السفلية بعناية لتفادى فقد أى أسمنت، ويسوى سطح الأسمنت ويغطى بورقة ترشيح ثانية.

٦- يحرك المكبس حتى يلامس ورقة الترشيح ويتم الضغط على العينة، ثم يرفع المكبس حوالى ٥مم ويدار ٩٠درجة برفق لعدم تناثر أى حبيبات أسمنتية فوق ورقة الترشيح ثم يضغط مرة أخرى ويسحب برفق.

٧- يوضع السطح المخروطي للخلية فى التجويف العلوي للمانومتر ويستخدم الشحم لإحكام مرور الهواء خلال الوصلات. يغلق أعلى الخلية بغطاء محكم ملائم.

٨- يفتح صمام المانومتر ويرفع مستوى السائل ليصل إلى العلامة العليا بأنبوبة مانومتر الجهاز. (العلامة رقم (١) كما هى موضح بالشكل (٢-١٥)). ثم يغلق الصمام ويختبر التسرب ويضبط الإحكام إلى أن يثبت مستوى السائل.

٩- يتم فتح الصمام ويضبط مستوى السائل عند أعلى علامة (ا) ثم تفتح الخلية ويحسب زمن سريان سائل المانومتر بين العلامتين الأوسطتين من العلامة (ب) إلى العلامة (جـ) ويسجل هذا الزمن (T) لأقرب ٠,٢ ثانية كما تسجل درجة الحرارة لأقرب درجة مئوية.

١٠- تعاد الخطوات السابقة مرتين وعلى نفس طبقة الأسمنت وتسجل قيم الزمن والحرارة فى كل مرة.

١١- يعاد الاختبار على عينتين جديدتين من نفس نوع الأسمنت وبنفس الخطوات السابقة وتسجل قيم الزمن والحرارة فى كل مرة.

١٢- لكل عينة يحسب متوسط الزمن ودرجة الحرارة ثم يتم حساب مساحة السطح النوعية للأسمنت المختبر باستخدام المعادلة التالية:

المساحة السطحية النوعية للأسمنت = $K\sqrt{T}$

حيث أن:

K : ثابت الجهاز

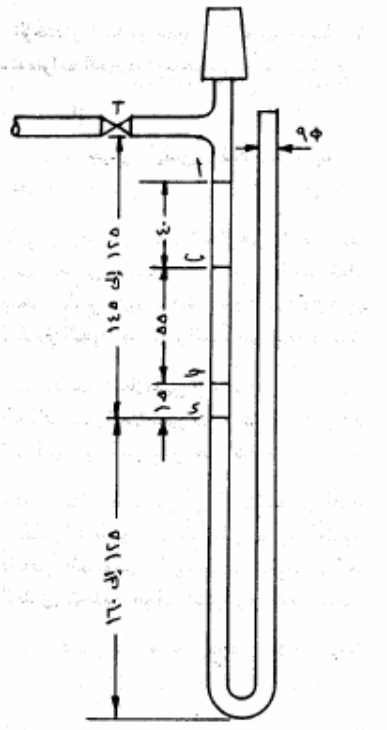
T: متوسط الزمن المسجل الذى يستغرقه السائل المانومتري للهبوط من العلامة رقم (٢) إلى العلامة رقم (٣) كما بالشكل رقم (٢-١٥) لأقرب ٠,٢ ثانية.

- **حدود القبول أو الرفض**

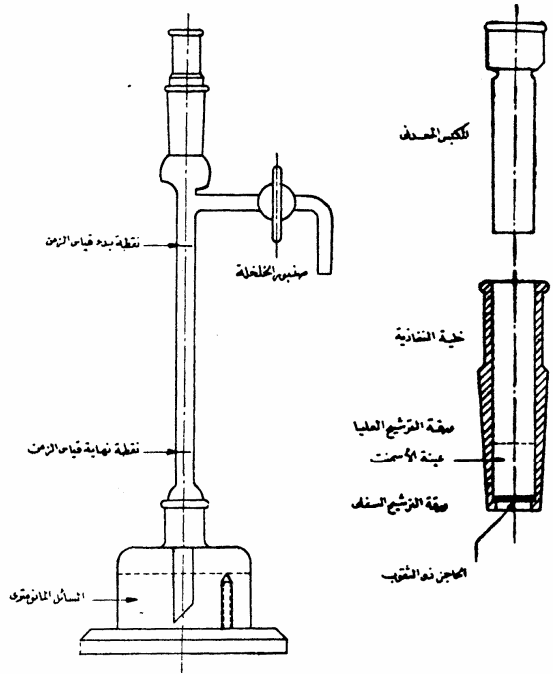
يجب ألا تقل نعومة الأسمنت عن :

أسمنت بورتلاندى عادى	**سم^{٢} / جم**	**٢٧٥٠**
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	**سم^{٢} / جم**	**٣٥٠٠**
أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات	**سم^{٢} / جم**	**٢٨٠٠**
أسمنت بورتلاندى منخفض الحرارة	**سم^{٢} / جم**	**٢٨٠٠**
أسمنت بورتلاندى أبيض	**سم^{٢} / جم**	**٢٧٠٠**
أسمنت بورتلاندى مخلوط بالرمل	**سم^{٢} / جم**	**٣٠٠٠**
أسمنت بورتلاندى نعومة ٤١٠٠	**سم^{٢} / جم**	**٤١٠٠**
أسمنت بورتلاندى حديدي	**سم^{٢} / جم**	**٢٥٠٠**

شكل (٢-١٥) صورة لجهاز بلين لتعين نعومة الأسمنت



المانومتر الموجود بجهاز بلين



رسم تخطيطي لجهاز بلين لقياس نعومة الأسمنت

الكثافة النوعية للأسمنت (الوزن النوعي للأسمنت)

كثافة الأسمنت هى وزن وحدة الحجوم لحبيبات الأسمنت، ويفيد تحديد كثافة الأسمنت فى تصميم الخلطات الخرسانية والتحكم فى جودتها، وقد تتراوح الكثافة النوعية (الوزن النوعي) لأنواع الأسمنت المختلفة ما بين ٣,١٠ إلى ٣,٢. وتوجد مؤثرات عديدة على الكثافة النوعية للأسمنت أهمها:

- التخزين: حيث أن التخزين لفترات طويلة يقلل من الكثافة النوعية بشكل ملحوظ.
- المركبات الكيميائية: لأن الأسمنتات التى تحتوى على أكسيد حديد قد تزيد الكثافة بقيمة تتراوح ما بين ٠,٠٥ إلى ٠,١ عن الأنواع التى بها نسبة أقل من هذه الأكاسيد.
- نعومة الأسمنت: لأن الأسمنتات ذات الحبيبات الناعمة تكون كثافتها النوعية أكبر من الأسمنتات ذات الحبيبات الخشنة والتى لها نفس المكونات و التركيب الكيميائي والظروف.

ويتم تعيين الكثافة النوعية (الوزن النوعي) للأسمنت بالاختبار الآتى:

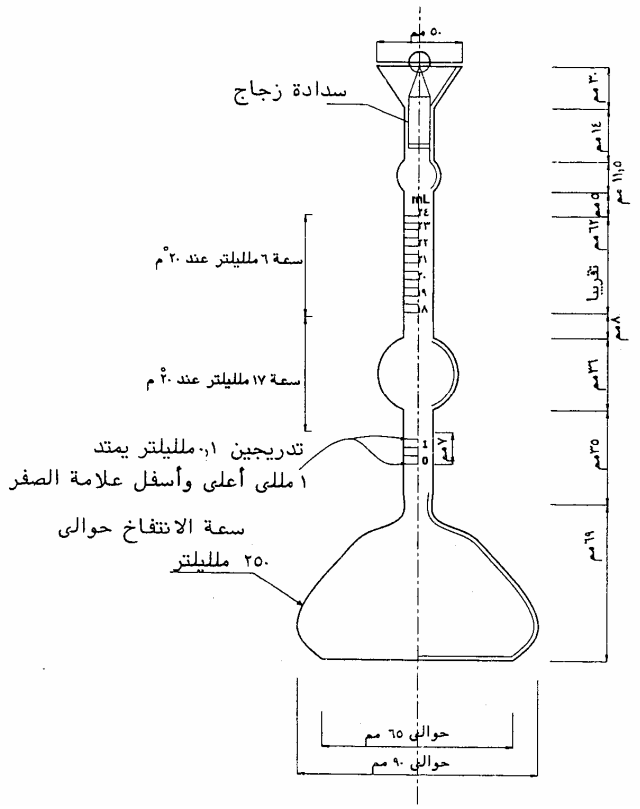
اختبار قياس الكثافة النوعية للأسمنت Specific Density of Cement

- **الهدف من الاختبار**

يهدف الاختبار لتحديد كثافة الأسمنت وذلك بتحديد وزن وحدة الحجوم من مادة الأسمنت باستخدام قنينة لوشاتليه للكثافة. ولكن لا تنص الموصفات على إجراء هذا الاختبار كاختبار قبول أو رفض للأسمنت، ولكن يتم تعيين الكثافة للاستفادة منها فى تصميم الخلطات الخرسانية أو لأي مقارنات بين أنواع الأسمنت المختلفة.

- **أجهزة الاختبار**:

- قنينة لوشاتليه للكثافة: تستخدم قنينة قياسية مستديرة المقطع بالشكل والأبعاد كالموضحة بالشكل رقم (٢-١٦).
- كيروسين: خالي من الماء والنفط أو أى سائل لا يتفاعل مع الأسمنت.
- حمام مائي :لضمان تثبيت درجة الحرارة لفترة كافية.
- ميزان



شكل (٢-١٦) شكل قنينة الكثافة المستخدمة فى تعيين الوزن النوعي للأسمنت

- **خطوات الاختبار**

أ- تجهز وتزن ٦٤ جرام من عينة الأسمنت المراد اختباره لأقرب ٠,٠٥ جرام، يجرى الاختبار على العينات بنفس صورتها التى تم تسليمها عليها التى تسليمها عليها إلا إذا تم التوصية بغير ذلك.

ب- تملأ القنينة بالكيروسين حتى يصل إلى نقطة بين التدريجين صفر و ١ ملليمتر، يجفف السطح الداخلي للقنينة أعلى مستوى الكيروسين إذا لزم الأمر.

جـ- توضع القنينة المملوءة بالكيروسين فى حمام مائي على أن تكون فى وضع رأسي داخل الحمام المائي وتؤخذ قراءة ابتدائية لمستوى الكيروسين بالقنينة.

د- توضع عينة الأسمنت المطلوب اختباراها داخل القنينة على دفعات صغيرة عند نفس درجة حرارة الكيروسين، ويراعى عند وضع الأسمنت داخل القنينة عدم فقد أى كمية منه أو التصاقه بالأسطح الداخلية للقنينة أعلى منسوب الكيروسين.

هـ- بعد وضع كمية الأسمنت بأكملها داخل القنينة، توضع السدادة على فوهة القنينة ثم تحرك القنينة حركة دورانية فى وضع مائل بحيث يتم طرد الهواء المحبوس بين حبيبات الأسمنت، ويستمر تحريك القنينة حتى يتوقف ظهور فقاعات هوائية من سطح الكيروسين داخل القنينة.

و- توضع القنينة فى الحمام المائي ثم تؤخذ القراءة النهائية.

- **النتائج**

يمثل الفرق بين القراءتين النهائية والابتدائية حجم السائل المزاح بعينة الأسمنت المستخدمة فى الاختبار وعلى ذلك:

الحجم المزاح من السائل = القراءة النهائية – القراءة الابتدائية

تحسب كثافة النوعية للأسمنت كما يلي:

$$\text{الكثافة النوعية للأسمنت} = \frac{\text{كتلة الأسمنت (جم)}}{\text{الحجم المزاح من السائل (سم}^3\text{)}}$$

اختبار تعيين الوزن الحجمى للأسمنت

- **الهدف من الاختبار**

يتم تعيين الوزن الحجمى للأسمنت وهو فى حالته الطبيعية بما فيه من فراغات بدون أى دمك حتى لا تؤثر على وحدة الحجوم للعينة المختبرة. وهذا الاختبار لا تنص عليه المواصفات للأسمنت كاختبار قبول أو رفض.

- **أجهزة الاختبار**

- مخروط معدني له بوابة مناسبة يسهل تركيبها وفتحها لحجز الأسمنت المختبر.
- وعاء حجمه لتر. – حامل ثلاثي.

- **خطوات الاختبار**

١– يتم وضع ٢لتر من الأسمنت فى مخروط الاختبار المعدني.

٢– تفتح البوابة ليسقط فى الوعاء السفلى تحت تأثير وزنه ويملأ الوعاء.

٣– يتم تسوية سطح الوعاء ويعين وزن الأسمنت المالئ للوعاء (و) بالكجم.

٤– يتم حساب الوزن الحجمى للأسمنت من العلاقة الآتية:

$$\text{الوزن الحجمى للأسمنت} = \frac{\text{وزن الأسمنت (و)}}{\text{حجم الوعاء (١لتر)}}$$

وعموما يتراوح الوزن الحجمى للأسمنت ما بين ١٠٠٠ : ١١٠٠ كجم/م^3.

٢-٦-٢ خواص واختبارات عجينة الأسمنت

لتعيين خواص واختبارات عجينة الأسمنت (الأسمنت وماء) يتم دراسة وتحديد خواص وطرق اختبار أهمها وهى:

- الشك والتصلد لعجينة الأسمنت.
- ثبات حجم الأسمنت.

الشك والتصلد لعجينة الأسمنت

من الحالات المهمة وهى حالة الأسمنت عندما يخلط عليه ماء مكوناً عجينة الأسمنت، والتى يفضل مناقشة مظاهرها الطبيعية بعد إضافة الماء على الأسمنت وحتى التصلد النهائي. ومن هذه المظاهر التصلب والشك والتصلد، والتى لها أهميتها الكبرى للحكم على جودة واستخدام الأسمنت لأنها تمثل دوال أساسية فى التركيبات والتفاعلات الكيميائية للأسمنت والتى يعرف كل منها كما يلي:

- التصلب (Stiffening): والتصلب هو فقد القوام لعجينة الأسمنت اللدنة، وعموما ترتبط بظاهرة فقد الهابط. وحيث أن الماء الحر هو المسئول عن لدونة عجينة الأسمنت، فإن الفقد المندرج للماء الحر من المنظومة العامة للتفاعلات والمنحصرة فى عملية الإماهة المبكرة، ومن الامتزاز الطبيعى على سطح منتجات التفاعلات الكيميائية مثل الإترنجيت وسيليكات الكالسيوم المماهة، ومن التبخر للماء أيضاً يتسبب هذا الفقد فى شك وتصلد العجينة الأسمنتية.

- الشك (Setting): الشك هو التجمد لعجينة الأسمنت اللدنة وينقسم الشك إلى قسمين الشك الابتدائي والشك النهائي.

- الشك الابتدائي (Initial Setting): هو التجمد الابتدائي، ويعبر عنه بالزمن الذى يمضى حتى تصبح العجينة غير قابلة للتشغيل. ويصعب بعد هذا الزمن نقل ووضع ودمك وتسوية العجينة الأسمنتية المستخدمة.
- الشك النهائي (Final Setting): هو التجمد الكامل للعجينة الأسمنتية، ويعبر عنه بالزمن الذى يمضى لتجمد العجينة بالكامل. لأن العجينة الأسمنتية لا تتجمد لحظيا بعد التجمد والشك الابتدائي، ولكن يلزم لها وقت كاف حتى تصبح جاسئة تماماً. ولكن لا يجب أن يكون هذا الوقت طويلاً بشكل ملحوظ لأجل استكمال عمليات الإنشاء المتتالية بعد مرور الفترة المناسبة من الصب.

- **التصلد (Hardening): هى ظاهرة نمو المقاومة مع الزمن. وتعتبر مرحلة التصلد الفعلي للعجينة مع الشك النهائي، حيث أن المركب الأساسي المسئول عن المقاومة المبكرة فى العجينة الأسمنتية وهو ثالث سيليكات الكالسيوم والذي يبدأ فى الإماهة فى مرحلة الشك النهائي مكوناً المنتج الرئيسي للمقاومة وهى سيليكات الكالسيوم المماهة والتى يستمر إنتاجها بسرعة مع استمرار سرعة التفاعل للأسمنت مع الماء، ثم يشترك أيضاً مركب أخر وهو ثاني سيليكات الكالسيوم منتجاً أيضاً سيليكات كالسيوم مماهة، وباستمرار التفاعل لعدة أسابيع تتقدم ملء الفراغات والمسام بمنتجات التفاعل الحادثة فى العجينة، ويسبب هذا انخفاض مسامية (نفاذية) العجينة الأسمنتية، ويصحب هذا زيادة مقاومتها حتى تصل إلى مرحلة التصلد النهائية.**

ويجب قبل الخوض فى اختبارات هذه الخواص معرفة العوامل المؤثرة على خواص الشك فى الأسمنت البورتلاندى وهى:

- **المكونات الأساسية للأسمنت.**
- **النسبة المئوية للمادة المضافة لتبطئ عملية الشك (الجبس الخام).**
- **درجة نعومة الأسمنت (حيث أنه كلما زادت نعومة الأسمنت كلما أسرع الشك بسبب النشاط الكيميائي الفعال).**
- **النسبة المئوية للماء المضاف لإتمام الخلط وتكوين العجينة الأسمنتية. (كما أنه مع زيادة كمية الماء تبطئ الشك)**
- **درجة الحرارة للماء والأسمنت أو الجو المحيط (عموما فكلما زادت درجة الحرارة كلما أسرعت عملية الشك).**
- **نسبة الرطوبة (حيث أن تشك الأسمنتات المعرضة لجو مشبع ببخار الماء منها لو كانت معرضة لجو جاف).**

ونظراً لأن النسبة المئوية للماء المستعمل فى خلط العجينة الأسمنتية يؤثر بدرجة كبيرة على زمن الشك فالعجينة ذات النسبة العالية من الماء تشك أبطأ من العجينة الجافة نسبيا ولذلك تحدد نسبة الماء لعمل العجينة ذات القوام القياسي من اختبار تحديد نسبة الماء اللازمة للعجينة الأسمنتية ذات القوام القياسي باستخدام جهاز فيكات وذلك قبل اختبار تحديد زمني الشك الابتدائي والنهائي للعجينة الأسمنتية باستخدام جهاز فيكات أيضاً وكذلك أيضاً قبل اختبار تقدير ثبات الحجم (التمدد) للأسمنت بطريقة لوشاتليه.
وسيتم ذكر تلك الاختبارات كل منها على حده فيما يلي.

اختبار تحديد نسبة الماء اللازمة للعجينة الأسمنتية ذات القوام القياسي
Water Required for Cement Paste of Standard Consistency

- **الهدف من الاختبار**

يتأثر زمن شك الأسمنت ومقدار ثبات حجمه بكمية الماء الداخل فى تكوين العجينة. فكلما زادت كمية المياه زاد زمن الشك للعجينة. لذلك يتم تعيين كمية المياه اللازمة لعمل عجينة قياسية من أجل إجراء اختبار زمني الشك الابتدائي والنهائي واختبار ثبات الحجم للأسمنت.

تعريف القوام القياسي: بأنه كمية المياه اللازمة لتشكيل عجينة ذات قوام قياسي وهى الكمية التى تعطى عجينة تسمح بنفاذ الطرف الأسطواني لجهاز فيكات إلى نقطة تبعد (٥ ± ١ ملليمتر) من قاع قالب فيكات عند اختبار عجينة الأسمنت.

- **الأجهزة المستخدمة**

- جهاز فيكات: الجهاز كما هو موضح فى شكل (٢-١٧) وللجهاز طرف اسطواني مثبت بالأجزاء المتحركة من معدن غير قابل للتآكل أو الصدأ طوله الفعال ٥٠ ± ١ ملليمتر وقطره ١٠± ٠,٠٥ملليمتر.
- قالب العجينة : يصنع قالب العجينة من المعدن أو المطاط الصلد أو البلاستيك على شكل مخروط ناقص عمقه ٤٠± ٢ ملليمتر وقطره الداخلي العلوي ٧٠± ٥ ملليمتر والسفلى ٨٠ ± ٥ ملليمتر. ومزود القالب بقاعدة زجاجية أبعادها أكبر من أبعاد القالب.
- مسطرين قياسي: زنة ٢١٠ جم.
- مخبار مدرج. – ميزان حساس. – لوح غير مسامي يوضع عليه عينة الأسمنت للخلط.

- **خطوات الاختبار**

تجرى التجارب فى مكان درجة حرارته ٢٥± ٢ درجة مئوية ورطوبته النسبية أكثر من ٥٠%، وعلى أن تكون درجة حرارة كل من الأسمنت والماء المستخدمين هى نفس درجة الحرارة التى يجرى عندها الاختبار. تعين كمية الماء اللازمة لتكوين عجينة الأسمنت ذات القوام القياسي بتجربة عدة محاولات لنفاذ الأسطوانة فى عجائن ذات محتوى ماء مختلف، وتحديد بعد الأسطوانة من قاع القالب كما يلي:

١- يعاير جهاز فيكات بتحريك الأسطوانة لتصل إلى القاعدة الزجاجية للقالب ثم يضبط تدريج الجهاز عند الصفر ثم تعاد الأسطوانة إلى مكانها.

٢- يوزن لأقرب جرام ٤٠٠ جرام من الأسمنت وتوضع على سطح غير مسامي ثم يضاف ١٠٠جرام من الماء (٢٥% من وزن الأسمنت) ويسجل الوقت كبداية لزمن القياسات التالية (صفر القياس).

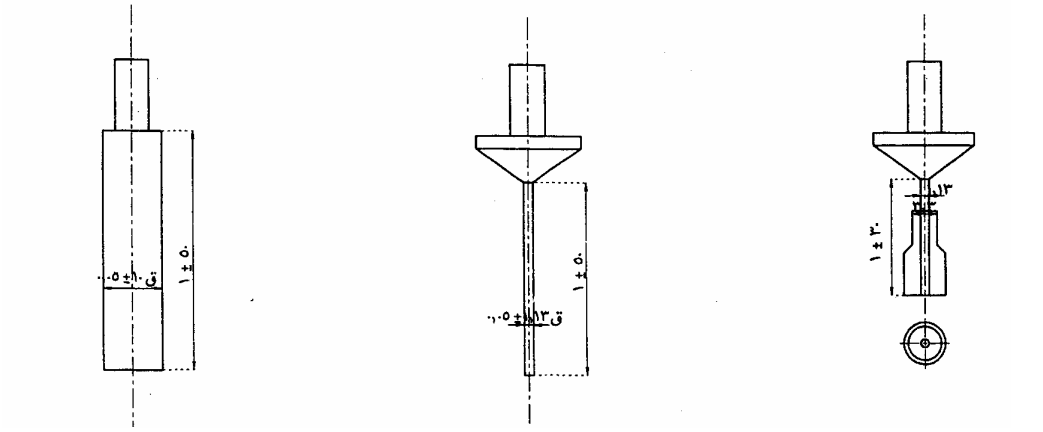
٣- تتم عملية الخلط باستخدام المسطرين فى مدة ٢٤٠ ±٥ ثانية على السطح غير المسامي.

٤- بعد انتهاء مدة الخلط تنقل العجينة فورا إلى القالب الموضوع على القاعدة الزجاجية المدهونة بالزيت المعدني الثقيل ويملأ القالب المرتكز على اللوح المستوى غير المسامي دفعة واحدة ملئاً يزيد عن القالب بدون ضغط أو هز لمحتوياته ثم تزال هذه الزيادة بتحريك حافة مستقيمة على السطح بحيث تجعل القالب مملوءا وسطحه ناعما.

٥- يوضع القالب والقاعدة الزجاجية على جهاز فيكات ويتمركز تحت الأسطوانة وتدلى الأسطوانة ببطء حتى تمس سطح العجينة وتوقف عند هذا الوضع لمدة ثانية أو ثانيتين لتحاشى السرعة الابتدائية للأجزاء المتحركة وبعد مرور ٤ دقائق ± ١٥ ثانية من بدء وقت القياس (صفر القياس) تترك الأجزاء المتحركة بحيث تنفذ الأسطوانة رأسيا فى مركز العجينة.

٦- يقرأ التدرج عند توقف الغرز أو بعد ٣٠ ثانية من ترك الأسطوانة أيهما أسبق وتسجل قراءة التدريج التى تبين المسافة بين نهاية الاسطوانة وقاعدة القالب وكذلك يسجل محتوى الماء فى العجينة كنسبة مئوية من وزن الأسمنت.

٧- تنظيف الأسطوانة فور عملية الغرز، ويكرر الاختبار مع عجائن تحتوى على نسب مختلفة من الماء إلى أن تصل إلى عجينة تسمح بنفاذ الاسطوانة إلى نقطة تبعد ٥ ± ١ ملليمتر من قاعدة القالب ويسجل محتوى الماء لأقرب ٠,٥% ليمثل كمية الماء اللازمة لإعداد عجينة الأسمنت ذات القوام القياسي. وقد تتراوح نسبة الماء اللازمة لتشكيل العجينة الأسمنتية القياسية بين ٢٥-٣٠%من وزن عينة الأسمنت.



اسطوانة القوام القياسي — إبرة الشك الابتدائي — إبرة الشك النهائي

شكل (٢-١٧) جهاز فيكات لتعيين القوام القياسي وتعيين زمن الشك للأسمنت.

اختبار تحديد زمني الشك الابتدائي والنهائي للأسمنت باستخدام جهاز فيكات
Initial and Final Setting Times of Cement Paste Using Vicat's Apparatus

- **الهدف من الاختبار**

يهدف الاختبار لتحديد زمني الشك الابتدائي والنهائي لعجينة ذات قوام قياسي باستخدام جهاز فيكات، ويحدد هذا الاختبار مدى صلاحية الأسمنت للاستخدام.يساعد تعيين زمن الشك الابتدائي على معرفة الزمن الذى تبدأ الخرسانة بعده فى الشك ولا يمكن صبها أو تشكيلها وكذلك يساعد تعيين زمن الشك النهائي على معرفة الزمن الذى تبدأ عنده الخرسانة فى التصلد.

- صفر القياس: وقت إضافة الماء إلى الأسمنت ويؤخذ كبداية لزمن القياسات.
- زمن الشك الابتدائي: هو الزمن المقاس من صفر القياس حتى تصل الإبرة إلى مسافة ٥ ± ١ ملليمتر من قاعدة القالب.
- زمن الشك النهائي: هو الزمن المقاس من صفر القياس حتى نفاذ الإبرة لمسافة ٠,٥مليمتر بينما لا تترك فيه الحلقة المتصلة بالإبرة أثراً فى الأسمنت.

- **الأجهزة المستخدمة**

جهاز فيكات: كما هو موضح بشكل (٢-١٧).

- قالب العجينة.
- إبرة قياس زمن الشك الابتدائي: وتصنع من الصلب على شكل أسطوانة قائمة بطول فعال ٥٠±١مليمتر وقطر ١,١٣±٠,٥ مليمتر.
- إبرة قياس زمن الشك النهائي: تصنع من الصلب على شكل أسطوانة قائمة بطول فعال ٣٠±١مليمتر وقطر ١,١٣±٠,٥مليمتر ومثبت بها حلقة قطرها ٥ ملليمتر عند طرف الإبرة الحرة بحيث تكون المسافة بين نهاية الإبرة وبداية الحلقة ٠,٥مليمتر.
- قالب العجينة. – مسطرين. –مخبار مدرج.

– ميزان حساس. – لوح غير مسامي.

- **خطوات الاختبار**

أ- العينات

١- توزن عينة الأسمنت لأقرب جرام ٤٠٠جرام من الأسمنت وتوضع على سطح غير مسامي ثم يضاف ١٠٠ملليمتر من الماء ويسجل الوقت كبداية لزمن القياسات التالية(صفر القياس).

٢- تتم عملية الخلط باستخدام المسطرين فى مدة ٢٤٠±٥ثانية على السطح غير المسامي.

ب- العجينة ذات القوام القياسي

يتم تحديد نسبة الماء اللازمة للعجينة ذات القوام القياسي كما هو موضح فى الاختبار السابق.

ج- تحديد زمن الشك الابتدائي

١- توضع إبرة جهاز فيكات ويعاير الجهاز بتحريك الإبرة حتى تصل القاعدة المستعملة مع القالب ويضبط مؤشر التدريج عند الصفر ثم تعاد الإبرة إلى مكانها.

٢- يملأ القالب بعجينة الأسمنت ذات القوام القياسي ويسوى سطحها ثم يوضع القالب لفترة زمنية مناسبة فى مكان عند درجة الحرارة والرطوبة المطلوبتين للاختبار.

٣- ينقل القالب إلى الجهاز ويوضع تحت الإبرة، ثم تدلى الإبرة ببط حتى تمس سطح العجينة، توقف فى مكانها لمدة ثانية أو ثانيتين لتحاشى تأثير السرعة الابتدائية، وتترك الأجزاء المتحركة لتنفذ الإبرة رأسيا فى العجينة. يقرأ التدرج عندما يتوقف نفاذ الإبرة أو بعد ٣٠ ثانية من ترك الأجزاء المتحركة أيهما أسبق، وتسجل قراءة التدريج التى تدل على المسافة بين قاعدة القالب ونهاية الإبرة، وكذلك الزمن بداية من صفر القياس.

٤- تكرر عملية نفاذ الإبرة على نفس العجينة فى مواضع متباعدة بحيث لا تقل المسافة بين نقط الغرز وكذلك من حافة القالب وأقرب نقطة غرز عن ١٠ملليمتر وبعد فترات زمنية متتالية(حوالى ١٠ دقائق) وتنظف الإبرة فور كل اختبار.

٥- يسجل الزمن المقاس من صفر القياس حتى تصل إبرة الجهاز ٥ ±١ملليمتر من قاعدة القالب كزمن الشك الابتدائي لأقرب ٥دقائق، وللتأكد من دقة القياس يقلل الزمن بين اختبارات الغرز ويدرس تذبذب هذه الاختبارات المتتالية.

د- تحديد زمن الشك النهائي

١- تستخدم إبرة تحديد زمن الشك النهائي والموضحة فى شكل (٢-١٧)، وتتبع نفس الخطوات المتبعة فى تحديد زمن الشك الابتدائي على أن تزداد الفترة بين اختبارات الغرز إلى ٣٠ دقيقة.

٢- يسجل الزمن المستغرق من صفر القياس حتى لحظة نفاذ الإبرة لمسافة ٠,٥ ملليمتر كزمن الشك النهائي، ويتم ذلك عمليا بمراقبة أثر الإبرة والحلقة على سطح العينة فيكون زمن الشك النهائي هو الزمن الذى يظهر فيه أثر الإبرة ولا تترك فيه الحلقة المتصلة بها أى أثر، وللتأكد من دقة القياس يقلل الزمن بين اختبارات الغرز ويدرس تذبذب هذه الاختبارات المتتالية.

٣- القبول والرفض

يجب أن يطابق زمن الشك الابتدائي لجميع أنواع الأسمنت الاشتراطات الواردة فى جدول (٢-٥) وألا يزيد زمن الشك النهائي عن ١٠ ساعات لجميع أنواع الأسمنت.

جدول (٢-٥) القيم المميزة الاشتراطات زمن الشك الابتدائي

رتب مقاومة الضغط (نيوتن/مم^2)	زمن الشك الابتدائي (دقيقة)
٣٢,٥	≤ ٧٥
٤٢,٥	≤ ٦٠
٥٢,٥	≤ ٤٥

ثبات حجم الأسمنت (Soundness)

خاصية ثبات الحجم للأسمنت هو مقدار التغير غير الضار فى حجم عينة الأسمنت المتصلدة، وهذه الخاصية تعتبر واحدة من الخواص اللازمة للأسمنت. حيث أنه قد ينتج عدم الثبات بعد تمام عملية الشك نتيجة إلى تفاعل الجير الحي (أكسيد الكالسيوم) الموجود فى حبيبات الأسمنت مع الماء ويمنع الغلاف الحافظ للحبيبة من تفاعل الجير الحي مع الماء بسرعة إلا أن الرطوبة تصل فى النهاية إلى الجير بعد أن يصل الأسمنت إلى مرحلة الشك. هذا ويتمدد الجير بقوة ملحوظة أثناء عملية إطفائه المتأخرة والتى تسبب تفتت كتلة الأسمنت، ومن هنا تظهر فائدة لإبطاء زمن الشك حيث يعمل ذلك على زيادة الوقت أمام الجير الحي حتى يتم إطفائه قبل تصلد عجينة الأسمنت.

وهناك سبب آخر مهم لعدم ثبات الحجم للأسمنت وهو وجود زيادة فى نسبة أكسيد الماغنسيوم المماه. حيث أنه لا يظهر عدم الثبات فى هذه الحالة إلا بعد وقت طويل أطول من حالة تأثير الجير الحي وذلك لأن أكسيد الماغنسيوم يتعرض لدرجة حرق كبيرة مع الكلنكر لذلك يحتاج إلى مدة طويلة حتى يتم إطفاءه. وكذلك يمكن أن تكون زيادة نسبة الكبريتات فى الأسمنت عاملاً من عوامل عدم ثبات الحجم. والتمدد فى هذه الحالة لا يرجع لتفاعل كبريتات الكالسيوم مع الماء ولكن يرجع إلى تكون كبريتات الكالسيوم الألومينية التى تتبين خطورتها عندما تكون موجودة بكميات كبيرة فقط. لذلك تحدد المواصفات القياسية إلى تحديد نسبة وجود الكبريتات على هيئة ثالث أكسيد الكبريت (SO_3) بحيث لا تزيد عن ٣,٥% لمعظم أنواع الأسمنت، ما عدا أسمنت خبث الأفران العالية النسبة لا تزيد عن ٤%. وقد وجد أن تمدد بعض المواد الداخلية فى الأسمنت يصحبه تشققات ثم تفتيت فى كتلة الأسمنت. ولذلك فإن بلورات الأسمنت تنكمش أثناء جفافها وتتمدد بترطيبها، فإنه من الواضح أن هذه الخاصية لمكونات الأسمنت تسبب انكماشاً للمونة أو الخرسانة فى الهواء وتمدداً لحبيبات الأسمنت فى الماء. ويمكن تقليل هذه الظاهرة بالإضافة المواد المالئة مثل الرمل فى المونة الأسمنتية والركام الناعم والخشن فى الخرسانة. ونتيجة للآثار المترتبة على عدم ثبات الحجم للأسمنت فقد حددت المواصفات القياسية اختبار تقدير ثبات الحجم للأسمنت (التمدد) بطريقة لوشاتليه لوضع حدود القبول أو الرفض المسموح بها لخاصية ثبات الحجم للأسمنت.

اختبار تقدير ثبات الحجم (التمدد) للأسمنت بطريقة لوشاتليه
Le Chatelier Expansion of Cement

الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى قياس تمدد الأسمنت باستخدام طريقة لوشاتليه. ويحدد هذا الاختبار مدى صلاحية جميع أنواع الأسمنت ما عدا الأسمنت ذو النعومة ٤١٠٠ حيث يجرى عليه اختبار التمدد بطريقة الأتوكلاف.

الأجهزة المستخدمة

- قالب لوشاتليه كالموضح بشكل (٢-١٨-أ) ويصنع القالب الأسطواني من سبيكة نحاسية خاصة بها شق طولي غير قابلة للتآكل أو التفاعل مع الأسمنت أو الماء وللقالب ذراعان. وتكون مرونة القالب بحيث يؤدى تأثير كتلة مقدارها ٣٠٠ جرام إلى زيادة المسافة بين نهايتي الذراعين بمقدار ١٧,٥±٢,٥ ملليمتر كما هو مبين بشكل رقم (٢-١٨-ب) دون حدوث تشكل دائم. ومع كل قالب لوحان من الزجاج يستخدمان كقاعدة وغطاء وتكون أبعاد الألواح أكبر من قطر الأسطوانة ولا يقل وزن لوح الغطاء عن ٧٥ جرام، ويمكن أن يستعان بكتل صغيرة توضع على لوح أخف لتعويض النقص فى هذا الوزن وذلك إذا لزم الأمر.
- حمام مائي. - ميزان حساس. - مخبار مدرج.

خطوات الاختبار

١- تجهز عينتان على الأقل من عجينة الأسمنت ذات القوام القياسي. على أن يتم تعيين كمية الماء اللازمة للعجينة ذات القوام القياسي كما هو وارد سابقاً.

٢- تجرى التجارب فى مكان درجة حرارته ٢٥±٢ درجة مئوية، ورطوبته النسبية أكبر من ٥٠%، كما يلاحظ أن تكون درجة حرارة كل من الأسمنت والماء المستخدمين هى نفس درجة الحرارة التى تجرى عندها التجربة.

٣- يدهن قالب الجهاز ولوح القاعدة بطبقة من الزيت ثم توضع عجينة الأسمنت فور تجهيزها يدويا دون أى ضغط أو هز القالب وتستخدم وسيلة لتسوية السطح ويراعى أن يكون شق القالب مغلقا أثناء عملية الملء، ثم يغطى القالب بلوح الغطاء المدهون بالزيت وتوضع كتلة أضافية فوقه فى حالة الحاجة إلى ذلك.

٤- يجرى الاختبار على عينتين من نفس العجينة وفى نفس الوقت.

٥- فى حالة الاختبار بطريقة الغليان يجرى الاختبار كما يلي:

أ- يوضع الجهاز كاملا فى الغرفة المكيفة عند درجة ٢٥±١درجة مئوية ورطوبة نسبية ٩٨% لمدة ٢٤ ساعة ± ٠,٥ ساعة.

ب- يرفع القالب عند نهاية هذه الفترة وتقاس المسافة (A) بين طرفي المؤشر لأقرب ٠,٥مم.

ج- يوضع القالب فى حمام المائي عند درجة ٢٥ ± ١ درجة مئوية ثم ترفع درجة الحرارة تدريجيا حتى الغليان فى فترة ٣٠ ± ٥ دقيقة ثم تترك المجموعة عند درجة الغليان لمدة ٢ ساعة ± ٥ دقائق.

د- يترك القالب ليبرد حتى ٢٥ ± ٢درجة مئوية وتقاس المسافة (B) بين طرفي المؤشر لأقرب ٠,٥مم.

٦- فى حالة الاختبار على البارد يجرى الاختبار كما يلي:

أ- تقاس المسافة (C) بين طرفي المؤشر لأقرب ٠,٥جم

ب- يوضع الجهاز فى حمام مائي عند درجة حرارة ٢٥ ± ١ درجة مئوية ورطوبة نسبية ٩٨% لمدة سبعة أيام ثم تقاس المسافة (D) بين طرفي المؤشر لأقرب ٠,٥مم.

النتائج

- فى حالة إجراء الاختبار بطريقة الغليان يحسب التمدد كما يلي:

$$E_B = B - A$$

حيث:

E_B : تمدد الأسمنت A : القراءة الابتدائية B : القراءة النهائية

- فى حالة إجراء الاختبار على البارد يحسب التمدد كما يلي:

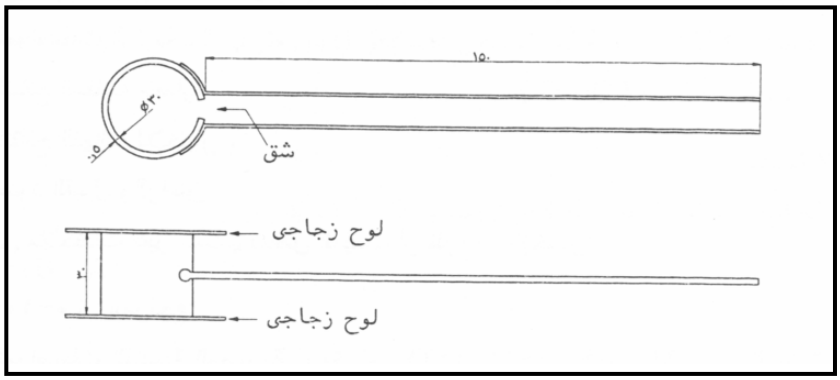
$$E_C = D - C$$

حيث:

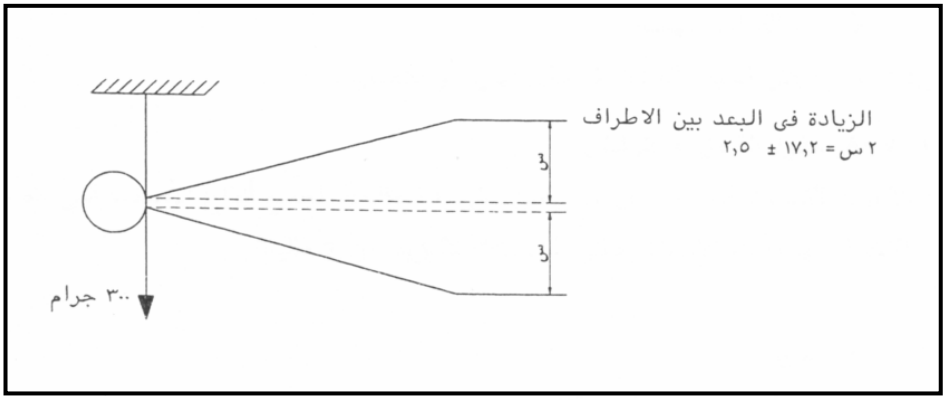
E_C : تمدد الأسمنت C : القراءة الابتدائية D : القراءة النهائية

حدود القبول أو الرفض

- لا يزيد التمدد المقاس بإحدى الطريقتين على ١٠ ملليمتر لجميع أنواع الأسمنت التى يتم عمل الاختبار لها ما عدا الأسمنت عالي الكبريتات لا يزيد عن ٥ ملليمتر.



شكل (٢–١٨–أ) قالب لوشاتليه



(٢–١٨–ب) اختبار مرونة الجهاز

٢-٦-٣ خواص واختبارات مونة الأسمنت

من أهم الخواص والاختبارات للمونة الأسمنتية (أسمنت ورمل وماء) هى تعيين مقاومة الأسمنت للضغط والشد والانحناء.

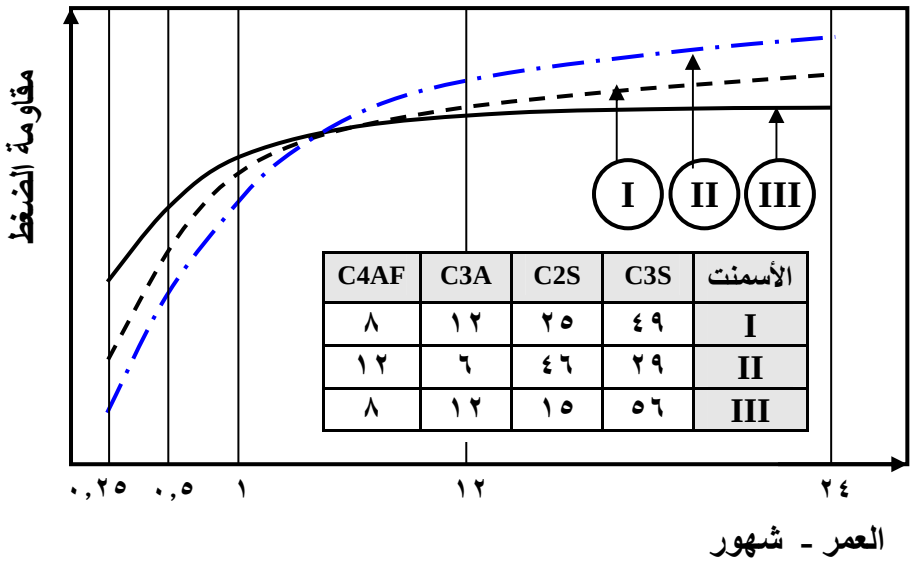
مقاومة الأسمنت البورتلاندى

تعتبر مقاومة الضغط من أهم خواص الأسمنت فى حالته المتصلد وكذلك خواص الخرسانة المستخدم فيها الأسمنت. وتكتسب المونة والخرسانة مقاومتها للضغط من وجود عجينة الأسمنت نتيجة التفاعل الذى يحدث بين مكونات الأسمنت والماء المضاف إليه، لذلك يلزم التأكد من أن الأسمنت المستخدم له مقاومة ضغط مناسبة بغرض قبوله أو رفضه. حيث أن المواصفات ملزمة لإجراء اختبار تعيين مقاومة الضغط على جميع أنواع الأسمنت البورتلاندى.

وتوجد عدة عوامل تؤثر على مقاومة الضغط للأسمنت وأهمها هى:

١- تأثير تركيب الأسمنت على المقاومة

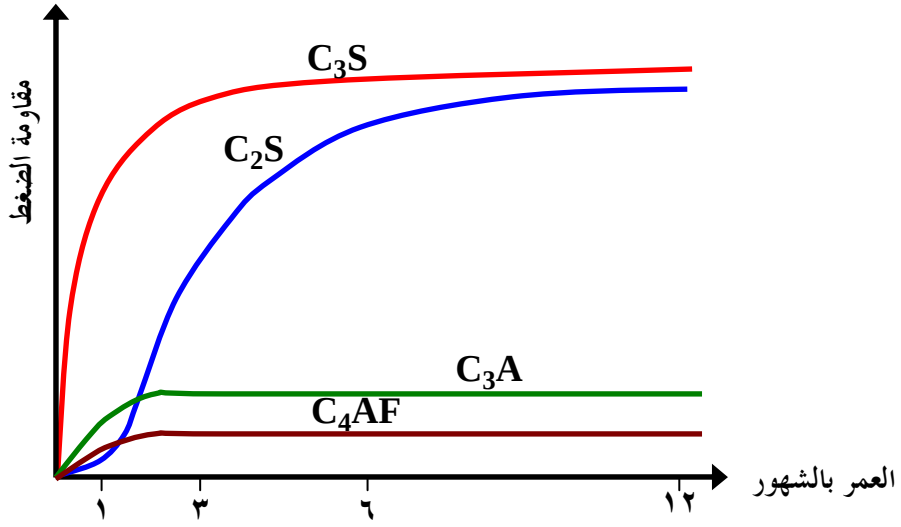
حيث تختلف معدلات التفاعل لمركبات الأسمنت البورتلاندى المنفردة مع الماء، فقد يكون فى الإمكان تغيير صفات معدلات نمو المقاومة للأسمنت بطريقة بسيطة وذلك بتغير تركيب مكونات الأسمنت. فمثلا يمكن الحصول مقاومة مبكرة عالية للخرسانة عند ٣ ، ٧ ، ٢٨ يوم إذا أحتوى الأسمنت على كميات وفيرة نسبياً من ثالث سيليكات الكالسيوم (C_3S)، ولسوف تصبح المقاومة المبكرة منخفضة إذا احتوى الأسمنت على كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكالسيوم (C_2S)، والعكس صحيح بالنسبة للمقاومة المتأخرة. شكل (٢-١٩) يؤكد هذه الظاهرة لتأثير تركيب الأسمنت على مقاومته للضغط.



الأسمنت	C3S	C2S	C3A	C4AF
I	٤٩	٢٥	١٢	٨
II	٢٩	٤٦	٦	١٢
III	٥٦	١٥	١٢	٨

شكل (٢-١٩) تأثير تركيب الأسمنت على مقاومة الضغط

وكذلك يظهر تأثير المركبات الأساسية للأسمنت (C_4AF, C_3A, C_2S, C_3S) على مقاومة الضغط كما هو موضح بالشكل (٢-٢٠).



شكل (٢-٢٠) نمو المقاومة للمركبات الأساسية للأسمنت

٢- تأثير نعومة الأسمنت على المقاومة

ويمكن التحكم فى نمو المقاومة بواسطة ضبط نعومة الأسمنت أيضا ودراسة تأثيره على مقاومة الضغط. حيث أنه بزيادة نعومة الأسمنت تزداد مقاومته للضغط كما هو موضح بالشكل (٢-٢١).

٣- تأثير نسب الرمل على المقاومة

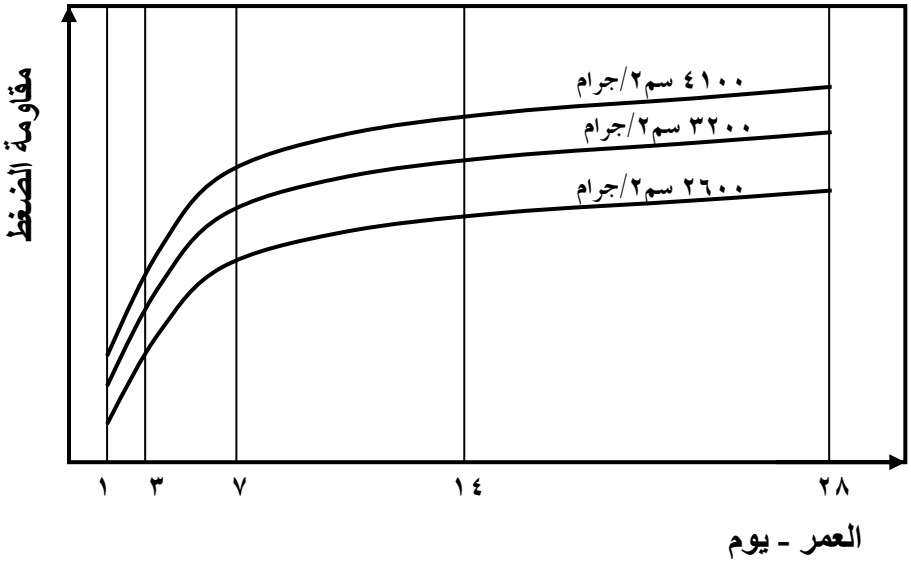
حيث أنه بزيادة نسبة الرمل فى الخليط تنقص المقاومة للضغط والعكس صحيح. ويبين الشكل (٢-٢٢) تأثير نسبة الرمل والعمر على مقاومة مونة الأسمنت.

٤- تأثير درجات الحرارة والرطوبة على المقاومة

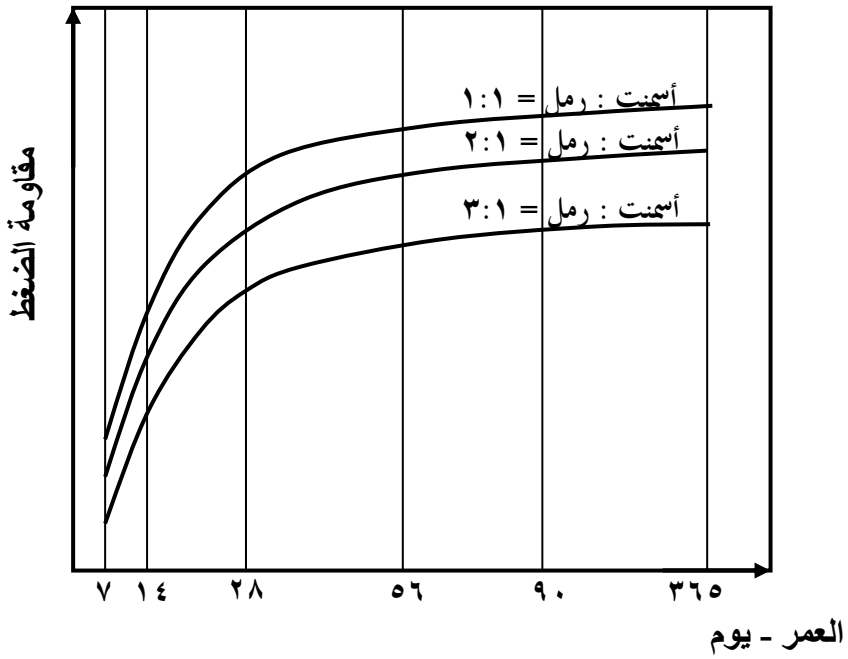
بزيادة درجات الحرارة يزداد الشك والتصلد ولكن تقل المقاومة القصوى والعكس صحيح. أما بالنسبة للرطوبة فإن العينات الأسمنتية تحتاج إلى معالجة بعد تصلدها فى ظروف رطبة مستمرة لكي تعطى مقاومة أعلى إذا ما قورنت بنفس العينات المعرضة للهواء الجاف.

٥- تأثير نسبة الماء / الأسمنت على المقاومة

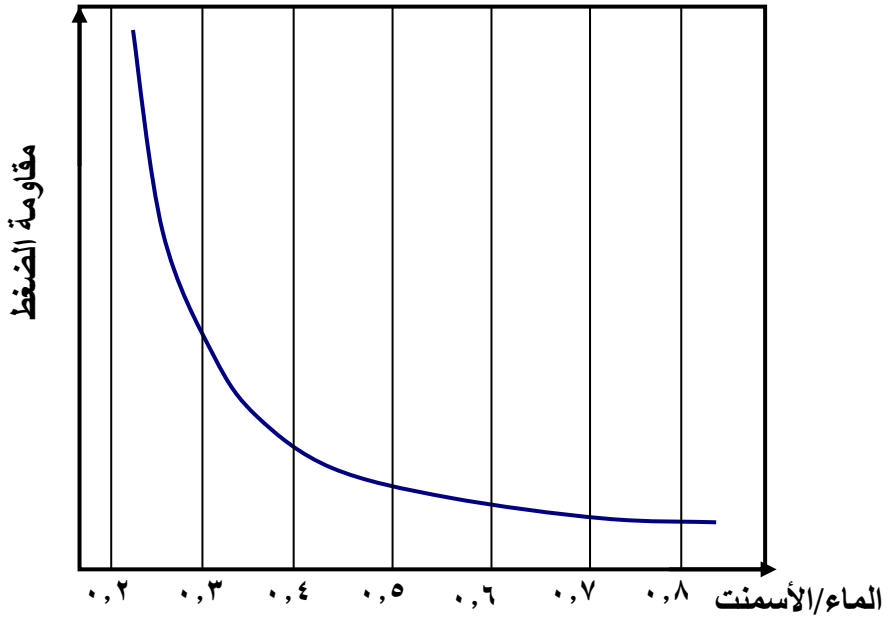
بزيادة نسبة الماء/ الأسمنت تقل المقاومة للضغط والعكس صحيح كما هو موضح بالشكل (٢-٢٣).



شكل (٢-٢١) تأثير نعومة الأسمنت على مقاومة الضغط



شكل (٢-٢٢) تأثير نسبة الرمل إلى الأسمنت على مقاومة مونة الأسمنت



شكل (٢-٢٣) تأثير نسبة الماء/ الأسمنت على مقاومة الضغط

اختبار تحديد مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية
Compressive Strength of Cement Mortars

الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين مقاومة الضغط لمونة الأسمنت باختبار مكعبات قياسية من مونة الأسمنت. ويتم خلطها يدويا أو ميكانيكيا وتدمك ميكانيكيا بماكينة اهتزاز قياسية. ويعتبر هذا الاختبار اختبار قبول أو رفض للأسمنت، ويجرى على جميع أنواع الأسمنت.

الأجهزة المستخدمة

- أجهزة الوزن والأثقال.
- المخابير المدرجة.
- مناخل قياسية ذات فتحات مربعة من نسيج أسلاك فتحتها ٨٥٠ ميكرون، ٦٠٠ميكرون.
- مسطرين الخلط.
- ماكينة الاهتزازات.
- حوض المعالجة.
- ماكينة اختبار الضغط.

قوالب الاختبار

- يكون قالب الاختبار مكعبا بأبعاد ٧٠,٧ ملليمتر ومساحة كل سطح ٥٠٠٠ مم^{٢}.
- يصنع القالب من معدن لا يتأثر بمونة الأسمنت ويكون متينا بالدرجة التى تمنع التشوهات ومصمما بحيث يسمح بسهولة نزع العينة منه دون حدوث أى أضرار بها، وتجمع أجزاء القالب بوسيلة تجعله متماسكا أثناء الملء والتداول.
- يمكن أن يتم إجراء الاختبار على عينات عبارة عن جزء من منشور تم اختباره فى الانحناء.

العينات المختبرة

- يتم اختبار ثلاثة مكعبات بأبعاد ٧٠,٧ × ٧٠,٧ × ٧٠,٧ ملليمتر عند كل عمر اختبار مطلوب.

خطوات الاختبار

١- تكون درجة الحرارة والرطوبة النسبية أثناء خلط وصب العينات كما هو موضح بالجدول رقم (٢-٦):

جدول (٢-٦): اشتراطات الحرارة والرطوبة النسبية والتفاوتات المسموح بها

المكان	درجة الحرارة (مئوية)	أقل رطوبة نسبية (%)
غرفة الخلط	٢٠±٢	٦٥%
غرفة المعالجة	٢٠±٢	٩٠%
ماء حوض المعالجة	٢٠±٢	---
حجرة ماكينة الضغط	٢٠±٢	٥٠%

يجب أن يراعى قبل إجراء الاختبار أن تكون درجة حرارة المواد المستخدمة والقوالب هى نفس درجة حرارة غرفة الخلط ويتم ذلك بحفظها داخل الغرفة لمدة كافية.

٢- يشترط فى الرمل القياسي المستعمل فى هذا الاختبار ما يلي:

- أن يكون الرمل نظيفاً ومجففاً جيداً ولا تقل نسبة السيليكا فيه عن ٩٠%بالوزن.
- أن يمر جميعه من المنخل القياسي (مقاس فتحته ٨٥٠ميكرون) ولا يزيد المار منه من المنخل القياسي (مقاس فتحته ٦٠٠ميكرون) على ١٠% بالوزن.

٣- تحضر الأوزان اللازمة (الرمل والأسمنت والماء) لكل مكعب كما هو موضح بالجدول رقم (٢-٧):

جدول رقم (٢-٧): نسب الخلط للمكعب الواحد

نوع الأسمنت	المواد	النسب بالوزن	الوزن (جرام)
كل أنواع الأسمنت ما عدا الأسمنت عالي الألومينا	أسمنت	١	١ ± ١٨٥
	رمل	٣	١ ± ٥٥٥
	ماء	٠,٤	١ ± ٧٤
الأسمنت عالي الألومينا	أسمنت	١	١ ± ١٩٠
	رمل	٣	١ ± ٥٧٠
	ماء	٠,٤	١ ± ٧٦

٤- يثبت القالب على ماكينة الهز ويركب الدليل فوق القالب.

٥- تخلط المونة الخاصة بكل مكعب على سطح غير مسامي ويخلط الأسمنت والرمل وهما جافان لمدة دقيقة، ثم يضاف الماء ويتم خلط المكونات لمدة ٤ دقائق باستخدام المسطرين.

٦- تنقل المونة على فور خلطها وبسرعة إلى دليل القالب ويهز القالب لمدة دقيقتين على ماكينة الاهتزاز القياسية .

٧- يرفع القالب من ماكينة الاهتزاز ويوضع فى غرفة المعالجة فى جو رطوبته النسبية ٩٠% على الأقل ودرجة حرارته ٢٠± ٢ درجة مئوية لمدة ٢٤ ± ٠,٥ ساعة، ويراعى أثناء هذه المدة تغطية سطح القوالب بلوح معدني مستو غير مسامي مثل الحديد أو المطاط لمنع تبخر الماء.

٨- تفصل العينات من القوالب وتوضع فى حوض المعالجة الذى يحتوي على ماء الشرب النظيف لحين وقت اختبارها.

٩- العينات المطلوب اختبارها بعد ٢٤ ساعة تفصل من قوالبها قبل ١٥ إلى ٢٠ دقيقة من اختبارها وتغطي بقطعة قماش مبللة للحفاظ على رطوبتها، وإذا كانت درجة تماسك المونة بعد ٢٤ ساعة تؤدي إلى انهيار المكعب، تؤجل عملية فصل المكعبات من القوالب لمدة ٢٤ ساعة أخرى، ويسجل ذلك فى تقرير الاختبار.

١٠- يحسب عمر اختبار العينات من وقت إضافة الماء للمواد وعادة ما تختبر بعد الأعمار التالية يوم واحد (٢٤ ± ٠,٥) ساعة، ثلاثة أيام (٧٢ ± ١) ساعة، سبعة أيام (١٦٨ ± ١) ساعة، ٢٨ يوما (٦٧٢ ± ١) ساعة.

١١- ترفع المكعبات من الماء عند حلول موعد اختبارها ويمسح الماء الزائد من أسطحها بواسطة قطعة قماش رطبة وتزال أى نتوءات سطحية بسيطة.

١٢- توضع المكعبات على أحد جوانبها وهى لا تزال مشبعة بالماء على الفك السفلى لماكينة قياس مقاومة الضغط (ويراعى ألا يستخدم حشو بين المكعب والفك)، ثم يطبق الحمل ويزداد تدريجيا وبانتظام بمعدل قدره ٣٥ نيوتن / مم^{٢} فى الدقيقة، على أن يكون محوراً العينة والحمل متطابقين تماما.

١٣- تسجل قيمة الحمل الذى يحدث عنده الكسر كما تسجل حالات الكسر غير العادي.

النتائج

- تحسب مقاومة الأسمنت للضغط من متوسط مقاومة الضغط لثلاث عينات مختبرة عند نفس العمر مع تقريب النتائج لأقرب ٠,٥ نيوتن / مم^{٢} كما يلي:

$$\text{مقاومة الضغط} = \frac{\text{متوسط حمل التهشيم لثلاثة مكعبات}}{\text{المساحة المعرضة للحمل}}$$

- إذا انحرفت نتيجة مقاومة ضغط أحد المكعبات الثلاثة عن المتوسط بمقدار $\pm$ ٥ % تحذف هذه القيمة ويعاد حساب متوسط النتائج الباقية.
- إذا زاد عدد المكعبات التى انحرفت نتائجها عن المتوسط بمقدار $\pm$ ٥ % عن مكعب واحد تحذف نتائج المجموعة كلها.

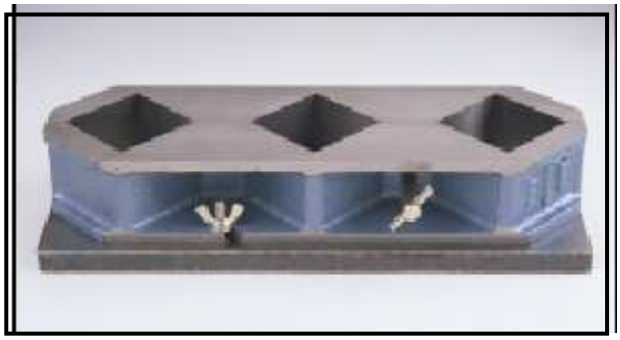
حدود القبول أو الرفض :

- تكون حدود القبول أو الرفض لمقاومة الضغط كما هو موضح بالجدول رقم (٢-٨)

جدول رقم (٢-٨) حدود المواصفات لمقاومة الضغط لمكعبات المونة الأسمنتية (نيوتن/مم٢)

نوع الأسمنت	بعد ٢٤ ساعة لا تقل عن	بعد ٣ أيام لا تقل عن	بعد ٧ أيام لا تقل عن	بعد ٢٨ يوما لا تقل عن
أسمنت بورتلاندى عادى	–	١٨	٢٧	٣٦
أسمنت بورتلاندى سريع التصلد	–	٢٤	٣١	٤٠
أسمنت بورتلاندى مقاوم للكبريتات	–	١٨	٢٧	٣٦
أسمنت بورتلاندى منخفض الحرارة	–	٧	١٣	٢٧
الأسمنت البورتلاندى المخلوط بالرمل	–	١٢	٢٠	٢٧
أسمنت بورتلاندى ذو النعومة ٤١٠٠	١٠	٢٥	٣٢,٥	٤٠
أسمنت حديدي	–	١٣	٢١	٣٤

خلاط المونة الأسمنتية



مجموعة من ثلاث قوالب مكعبة للمونة

هزاز المونة الأسمنتية

ماكينة الضغط للمونة الأسمنتية

اختبار تحديد مقاومة الانحناء للمونة الأسمنتية
Flexural Strength of Cement Mortar

الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد مقاومة الانحناء للمونة الأسمنتية. ويلاحظ أن أجزاء المنشورات التى يتم اختبارها فى الانحناء يمكن استخدامها فى تحديد مقاومة الضغط، حيث أنه تعتبر مقاومة الشد بالانحناء من الخواص الهامة للمونة الأسمنتية، ويمكن تحديدها بهذا الاختبار. ولا يعتبر هذا الاختبار اختبار قبول أو رفض للأسمنت.

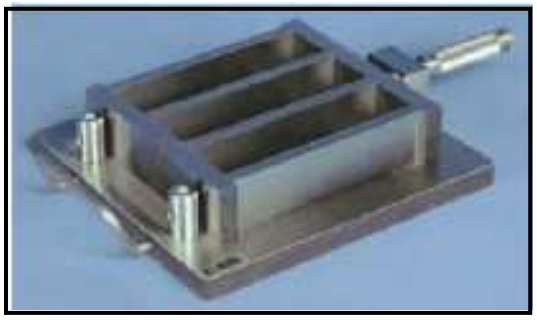
الأجهزة المستخدمة

- الموازين والمناخل و المخابير المدرجة و الخلاط الميكانيكي.
- منضدة الانسياب وقالب الانسياب.
- قوالب العينات: القوالب للعينات المنشورية ذات المقاس ٤٠ × ٤٠ × ١٦٠ ملليمتر تكون مجهزة لإعداد ثلاث عينات ويتم صب العينات بحيث يكون محورها أفقياً. ويلزم أن تكون القوالب مصنوعة من معدن صلد لا يتأثر بمونة الأسمنت وله صلادة لا تقل عن ٥٥ بمقياس روكويل. يجب أن تكون أجزاء القالب مزودة بعلامات تبين الجوانب التى يتم تجميعها سويا وعندما تكون مجمعة يجب أن تكون غير منفذة ومتماسكة بشدة.

– أداة الدمك.	– دليل الدمك.	– المسطرين.
– حوض المعالجة.	– جهاز اختبار الانحناء.	– ماكينة اختبار الضغط.

العينات المختبرة

يكون عدد العينات ثلاثة أو أكثر لكل عمر اختبار وتكون على شكل منشورات بأبعاد ٤٠×٤٠×١٦٠ ملليمتر.

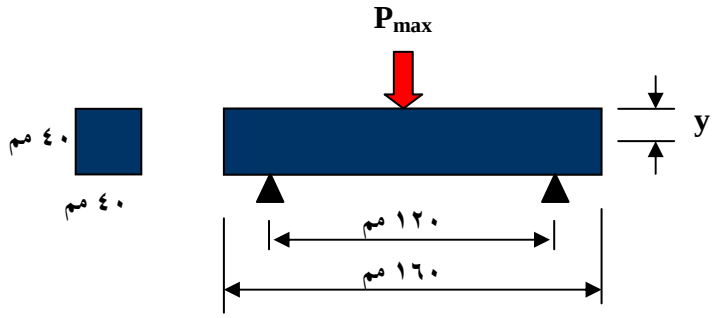


القوالب المنشورية الخاصة باختبار الانحناء للمونة مقاس ٤٠×٤٠×١٦٠ مم

خطوات الاختبار

- تكون درجة الحرارة لغرفة الخلط أثناء خلط وصب العينات وكذلك الأسمنت والرمل والقوالب ٢٣ ± ٢ درجة مئوية وألا تقل الرطوبة النسبية عن ٥٠%، على أن تكون درجة حرارة غرفة المعالجة ٢٠ ± ٢ درجة مئوية وألا تقل الرطوبة النسبية عن ٩٠%.
- يستخدم رمل قياسي كما هو موضح باختبار مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية.
- تحضر الأوزان اللازمة (الرمل والأسمنت والماء) لكل منشور كما هو موضح بجدول (٢-٥) السابق فى اختبار الضغط للمونة الأسمنتية.
- يتم إعداد كميات تكفى لملء مجموعة واحدة من القوالب (٣ عينات منشورية).
- فى حالة استخدام كميات غير ما هو وارد بالجدول فيتم اختيار كمية المياه بحيث تحقق انسياباً قدره ١١٠± ٥ % مع ٢٥ طرقة لمنضدة الانسياب.
- يتم إعداد قوالب العينات للاختبار ويتم تغطية أسطح تلامس أجزاء القوالب بطبقة رقيقة من زيت معدني ثقيل أو شحم خفيف.
- يتم خلط مكونات المونة بالخلاط الميكانيكي .
- يتم فرد طبقة من المونة بسمك حوالى ٢٠ ملليمتر فى كل من القوالب الثلاثة فى وجود دليل الدمك ثم يتم دمك المونة فى كل قالب ١٢ ضربة فى ثلاث دورات بكل دورة أربع ضربات ويتم عمل الضربات فى حوالى ١٥ ثانية مع مراعاة أن يكون وجه أداة الدمك فى وضع أفقي أعلى المونة بحوالي ٢٥ ملليمتر وأن يتم الضغط إلى أسفل مباشرة بقوة كافية لخروج كمية صغيرة من المونة من تحت أداة الدمك ويتم ملء القوالب بالطبقة الثانية من المونة ويتم دمكها كما سبق. يزال دليل الدمك ويتم تسوية السطح بالمسطرين.
- يتم حفظ عينات الاختبار بعد الصب مباشرة داخل القوالب فى حجرة المعالجة الرطبة لمدة ٢٤ ± ٠,٥ ساعة محسوبة من نهاية الخلط مع حماية سطحها من الماء المتساقط ثم يتم إخراج العينات من القوالب وتغمر فى الماء فى حوض المعالجة ويتم الحفاظ على نظافة ماء الخلط بتغييره كلما لزم الأمر.
- يتم اختبار العينات مباشرة بعد إزالتها من غرفة الرطوبة للعينات المختبرة عند عمر ٢٤ ساعة ومن حوض الماء للعينات الأخرى. ويتم كسر جميع العينات فى العمر المحدد للاختبار.
- ولكن عندما يكون من المخطط اختبار أجزاء من المنشورات لتحديد مقاومة الضغط يتم اختبار العينات مبكرا بحيث يمكن إجراء اختبار الضغط فى نفس حدود السماحية السابقة.

- يتم تجفيف كل منشور باستخدام قطعة من القماش الرطب ليصبح سطحه جافا ويتم إزالة أى حبيبات رمل مفككة وأي زيادات من السطح الذى سيستخدم للتحميل والارتكاز. ويتم الكشف على هذه الأسطح باستخدام حافة مستوية.
- يتم تركيز قاعدة جهاز الاختبار قرب منتصف المرتكز الكروي العلوي مع مراعاة أن يكون بحر العينة ١٢٠ مم كما هو موضح بالشكل (٢-٢٤) ويتم وضع العينة بحيث ترتكز على أحد جانبيها وبحيث يكون محورها فى منتصف المرتكزات ويتم التأكد من أن حافة التحميل تمس العينة بانتظام عند بداية التحميل ويتم تحديد الحمل الأقصى لأقرب ٢٠ نيوتن.



شكل (٢-٢٤) طريقة تحميل عينة المونة الأسمنتية فى الانحناء

النتائج

يحدد حمل الكسر P_{max} ومنه يحسب إجهاد الكسر فى الانحناء (f_m) والذي يسمى معاير الكسر من العلاقة التالية.

$$f_m = \frac{M\,y}{I}$$

حيث:

f_m : معاير الكسر أو مقاومة الانحناء – كج/سم^2

M : عزم الانحناء المؤثر – كج.سم = $P_{max} \times ٣,٠$

P_{max} : حمل الكسر – كج

y : نصف ارتفاع الكمرة = ٢ سم

I : عزم القصور الذاتي للقطاع سم^4 = $(٤)^4/١٢$

بالتعويض فى المعادلة تصبح قيمة مقاومة الانحناء (معاير الكسر):

$$f_m = 0.28\ P_{max} \qquad kg/cm^2$$

- يلاحظ عند حساب المتوسط المستخدم فى حساب المقاومة أن تستبعد القيم التى تعطى مقاومة تختلف بمقدار يزيد عن ١٥% من متوسط قيمة نتائج كل عينات الاختبار والمصنعة من نفس المونة.

اختبار مقاومة الشد للمونة الأسمنتية
Tensile Strength of Cement Mortars

الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين مقاومة الشد لمونة أسمنتية فى شكل طوبية. ويستخدم بصفة عامة فى الأبحاث لتحديد مقاومة الشد المباشر للأسمنت. هذا الاختبار اختياري نظراً لأن مقاومة الشد للأسمنت حوالى (١٠/١ – ١٥/١) من مقاومة الضغط وكذلك نظراً لما يصاحب هذا الاختبار من تشتت كبير فى النتائج. ولا يعتبر هذا الاختبار اختبار قبول أو رفض للأسمنت.

الأجهزة المستخدمة

- أجهزة الوزن والأثقال. – المخابير المدرجة.
- المناخل. – مسطرين الخلط.
- القالب: يصنع القالب المستخدم فى إعداد عينة الاختبار من معدن لا يتأثر بمونة الأسمنت و يكون ذا سمك كاف يمنع تشكله أثناء الصب. عند استخدام قالب واحد لعمل أكثر من عينة يكون شكل القالب كما هو مبين فى شكل(٢–٢٥).
- أداة دمك. – ماكينة الاختبار.
- كلابات: الكلابات المستخدمة لإمساك عينة اختبار الشد تكون حسب ما هو موضح بالشكل (٢–٢٦).

خطوات الاختبار

١– يجب أن تكون درجة الحرارة أثناء خلط وصب العينات وكذلك المواد الجافة والقالب فى حدود ٢٠ إلى ٢٧,٥ درجة مئوية وألا تقل الرطوبة النسبية عن ٥٠%، وتكون درجة حرارة ماء الخلط وغرفة الخلط وغرفة المعالجة ٢٠ $\pm$ ١ درجة مئوية وألا تقل الرطوبة النسبية عن ٩٠%

٢– يجب أن يستخدم رمل قياسي وكما موضح باختبار مقاومة الضغط للمونة الأسمنتية.

٣– يتم تحديد نسبة الماء لعجينة الأسمنت ذات القوام القياسي.

٤– تحضر الكميات اللازمة لعمل عدد ست عينات من مونة الأسمنت نسبة جزء واحد بالوزن من الأسمنت إلى ثلاثة أجزاء بالوزن من الرمل القياسي.

٥- يعد قالب الاختبار وذلك بربط جزأيه ووضعه مرتكزا على القاعدة وتغطية أوجهه الداخلية والقاعدة بطبقة رقيقه من الزيت الخفيف.

٦- يخلط الأسمنت مع الرمل الجاف بالمسطرين على سطح مستوى غير مسامي لمدة دقيقة ثم يضاف الماء وتخلط المونة خلطا جيدا لمدة أربع دقائق ويراعى أن تكون أجهزة الخلط نظيفة.

٧- يتم ضغط المونة داخل القالب باستخدام إصبع الإبهام اثنتي عشرة مرة على كامل مسطح العينة الواحدة.

٨- يتم حفظ عينات الاختبار بعد الصب مباشرة فى حجرة المعالجة الرطبة لمدة ٢٤ ± ٠,٥ ساعة محسوبة من نهاية الخلط مع حماية سطحها من الماء المتساقط. ثم يتم إخراج العينات من القوالب وتغمر فى ماء مشبع بالجير فى أحواض مصنعة من مادة غير قابلة للتآكل.

٩- يتم اختبار العينة مباشرة بعد رفعها من غرفة الرطوبة للعينات المختبرة عند عمر ٢٤ ساعة ومن حوض الماء للعينات الأخرى. ويتم كسر جميع العينات فى العمر المحدد للاختبار.

١٠- يتم تجفيف أسطح جميع العينات بحيث يصبح سطحها جافا ويتم إزالة أى حبيبات رمل مفككة أو زيادات على السطح الذى سيتلامس مع الكلابات فى ماكينة الاختبار. وتحمل العينة بحمل يبدأ من الصفر ويزداد تدريجيا بمعدل منتظم مقداره ٤٠٠نيوتن/١٠ ثوان وذلك حتى الكسر. ويتم تدوين الحمل الأقصى الكلى المبين فى ماكينة الاختبار.

النتائج

يتم حساب مقاومة شد مونة الأسمنت والمعبر عنها بإجهاد الشد كما يلي:

$$\text{إجهاد الشد} = \frac{\text{حمل الشد (متوسط ست عينات)}}{\text{المساحة المعرضة للحمل}} \quad (\text{نيوتن /مم}^2)$$

- يلاحظ عند حساب المتوسط المستخدم فى حساب المقاومة أن تستبعد القيم التى تعطى مقاومة تختلف بمقدار يزيد عن ١٥% من متوسط قيمة نتائج كل عينات الاختبار والمصنعة من نفس المونة.

حدود القبول والرفض

- بالنسبة للأسمنت البورتلاندى ذي النعومة ٤١٠٠ لا يقل متوسط مقاومة الشد لست عينات عما هو مبين بالجدول التالي رقم (٢-٩).

جدول رقم (٢-٩): القيم الدنيا لمقاومة الشد للأسمنت البورتلاندى ذي النعومة ٤١٠٠

العمر (يوم)	مقاومة الشد (نيوتن/مم^2)
يوم واحد	٢,٥
ثلاثة أيام	٣,٠
سبعة أيام	٣,٥
ثمانية وعشرون يوما	٤,٠

شكل (٢-٢٥) قالب عينة اختبار مقاومة الشد للمونة الأسمنتية

شكل (٢-٢٦) كلابة ماكينة اختبار مقاومة الشد

وبـــهذا يكون قد تم شرح وتوضيح أهم خواص واختبارات الأسمنت فى صوره المختلفة ولكن يوجد بعض الخواص والاختبارات المعملية الأخرى للأسمنت يتم الرجوع إليها طبقا للاحتياج لهـــا فى الحكـــم علـــى الأسمنت مثل:

- **الانسياب للمونة الأسمنتية.**
- **النضح للعجينة والمونة الأسمنتية.**
- **تمدد المونة الأسمنتية المعرضة للكبريتات.**
- **الانكماش بالجفاف للمونة الأسمنتية.**
- **الاختبارات الكيميائية للأسمنت.**

****

الباب الثالث

المواد الإحلالية المختلفة للأسمنت

من المعروف أن الأسمنت مادة رابطة هيدروليكية، أي هو مادة غير عضوية مطحونة ناعما تكوّن عند خلطها بالماء عجينة تشك وتتصلد بفعل تفاعلات وعمليات الإماهة والتى بعد تصلدها تحتفظ بقوتها. ويرجع التصلد الهيدروليكي للأسمنت بشكل أساسي إلى إماهة سيليكات الكالسيوم (C_2S, C_3S) ويمكن أن تساهم أيضا مركبات كيميائية أخرى مثل الألومينات فى عملية التصلد. ويشترط فى الأسمنت البورتلاندي أن لا يقل مجموع نسبة أكسيد الكالسيوم الفعال (CaO) ونسبة ثاني أكسيد السيليكون الفعال (SiO_2) فى الأسمنت عن ٥٠% بالوزن.

و الكلنكر –كما سبق الحديث عنه– ينتج من حرق خليط محدد من المواد الخام الأولية (قد تكون هذه المواد جافة أو عجينة أو روبة) وهذه المواد تحتوى على أكاسيد الكالسيوم والسيلكون والألمنيوم والحديد (CaO، SiO_2، AL_2O_2، Fe_2O_3) وكميات قليلة من مواد أخرى، وتكون هذه المواد الخام مطحونة ومخلوطة جيداً ومتجانسة. وينبغي أن يحقق الكلنكر الاشتراطات الآتية:

- أكثر من ثلثي وزنه من سيليكات الكالسيوم (C_2S, C_3S).
- لا تقل نسبة أكسيد الكالسيوم إلى ثاني أكسيد السيلكون عن ٢ ($CaO/SiO_2>2$).
- لا يزيد محتوى أكسيد الماغنسيوم (MgO) عن ٥% بالوزن.

وفى الأسمنت البورتلاندي الشائع الاستخدام الكلنكر هو المكوّن الرئيسي حيث يشغل حوالي من ٩٥ إلى ١٠٠ من وزن الأسمنت. وطبقاً لأحدث مواصفات قياسية مصرية للأسمنت (رقم ٢٠٠٦/١٠٤٧٥٦) فإن الأسمنت الناتج يسمى CEM1 وهذا النوع من الأسمنت هو الذي يندرج تحته معظم الأسمنتات المعروفة والمتداولة فى السوق ومنها الأسمنت البورتلاندي العادي وسريع التصلد والمقاوم للكبريتات وهكذا .. وعندما يقل محتوى الكلنكر فى الأسمنت عن ٩٥% بالوزن فإن الأسمنت الناتج يأخذ أحد الرموز CEM5, CEM4, CEM3, CEM2 تبعاً للمادة التي تم إحلالها مكان جزء من الكلنكر ونسبتها فى الخليط. والشكل (٣–١) يوضح هذه الأنواع من الأسمنت والمواد الإحلالية المستخدمة. وهناك مواد معينة نصت عليها المواصفات هي التي يمكن إحلالها مكان جزء معين من الكلنكر وبنسب محددة وذلك لإعطاء خواص معينة للأسمنت الناتج أو توفيراً فى الطاقة أو تكاليف الإنتاج. وهذه المواد الإحلالية هي:

١– خبث الفرن العالي المحبب (S)
٢– المواد البوزولانية (P, Q)
٣– الرماد المتطاير (V , W)
٤– الطفل المحروق (T)
٥– الحجر الجيري (L , LL)
٦– غبار السيليكا (D)

الشكل (٣-١) أنواع الأسمنت طبقاً للمواصفات القياسية المصرية ٢٠٠٦

والأسمنت الناتج عن هذه المواد الإحلالية يأخذ المسميات الآتية فى المواصفات القياسية المصرية:

- الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM 2)
- أسمنت خبث الأفران العالية (CEM 3)
- الأسمنت البوزولانى (CEM 4)
- الأسمنت المركب (CEM 5)

وفيما يلي تعريف موجز بهذه المواد الإحلالية:

١- خبث الفرن العالي المحبب (S)

ينتج خبث الفرن العالي المحبب بالتبريد المفاجئ لمصهور الخبث ذو التركيب المناسب الذى تم الحصول عليه من تنقية خامات الحديد بالصهر فى الفرن العالي يحتوى الخبث على ثلثي وزنه على الأقل على الخبث الزجاجي الذى يمتلك خصائص هيدروليكية عند تنشيطه بشكل مناسب ويجب أن يكون ثلثي وزن خبث الفرن العالي المحبب على الأقل من مجموع أكسيد الكالسيوم (CaO) وأكسيد الماغنسيوم (MgO) وثاني أكسيد السيليكون (SiO_2) ويحتوى الباقي على أكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) مع كميات قليلة من مركبات أخرى ويجب أن تزيد نسبة ثاني أكسيد السيلكون بالوزن عن مجموع وزني أكسيد الكالسيوم وأكسيد الماغنسيوم. $(CaO + MgO) / SiO_2$

٢- المواد البوزولانية (P, Q)

المواد البوزولانية مواد طبيعية ذات تركيب سيليسي أو سيليسي ألومينى أو خليط منهما، ويمتلك الرماد المتطاير وغبار السيليكا على خصائص بوزولانية.

لا تتصلد المواد البوزولانية ذاتيا عند خلطها بالماء ولكن عند طحنها ناعما وبوجود الماء تتفاعل عند درجة حرارة الوسط المحيط مع هيدروكسيد الكالسيوم المذاب ($Ca(OH)_2$) لتكون مركبات سيليكات الكالسيوم و ألومينات الكالسيوم التى بدورها لديها القدرة على اكتساب المقاومة، وهذه المركبات تماثل تلك المواد الناتجة من تصلد المواد.

تتكون البوزولانا بشكل أساسي من ثاني أكسيد السيليكون الفعال(SiO_2) وأكسيد الألومنيوم (AL_2O_3) ويحتوى الباقي على أكسيد الحديد (Fe_2O_3) وأكاسيد أخرى نسبة أكسيد الكالسيوم الفعال للتصلد تكاد لا تذكر ويجب أن لا تقل نسبة ثاني أكسيد السيليكون الفعال عن ٢٥% بالوزن ويجب أن تكون المواد البوزولانية محضرة بشكل صحيح وذلك بأن تكون مختارة ومتجانسة ومجففه أو معالجة حراريا ومطحونة وذلك تبعا لحالتها عند الإنتاج أو التسليم. ويوجد نوعين من المواد البوزولانية

*** البوزولانا الطبيعية (P)**

البوزولانا الطبيعية تكون عادة من مصادر بركانية أو صخور رسوبية ذات تركيب كيميائي ومعدني مناسب.

*** البوزولانا المكلسنة طبيعيا (Q)**

مواد من أصل بركاني أو خامات طينية أو طفل أو صخور رسوبية تنشط بالمعالجة الحرارية.

٣- الرماد المتطاير (V , W)

يتم الحصول على الرماد المتطاير بواسطة الترسيب الإلكتروستاتيكي أو الميكانيكي للحبيبات الشبيهة بالغبار الموجودة فى الأدخنة المتصاعدة من الأفران التى تستخدم الفحم ويجب أن لا يستعمل الرماد المتطاير المنتج بطرق أخرى فى صناعة الأسمنت المطابق لهذه المواصفة ويمكن أن يكون الرماد المتطاير بطبيعته سيليسي أو كلسي الأول له خصائص بوزولانية والآخر قد يكون له هذه الخواص بالإضافة إلى ذلك خصائص هيدروليكية ويجب أن لا يزيد الفقد بالحرق للرماد المتطاير على ٥% بالوزن عند تعيينه طبقا للمواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن عند حرق لمدة ساعة واحدة ويمكن أيضا قبول رماد متطاير ذو نسبة فقد بالحرق تتراوح بين ٥% وحتى ٧% بالوزن على أن يحقق متطلبات خاصة بالديمومة (المعمرية) خصوصا مقاومة الصقيع ومتطلبات التوافق مع الإضافات طبقاً للمواصفات المناسبة الخاصة بالخرسانة أو المونة فى موقع الاستخدام وفى حالة رماد ذي نسبة فقد بالحرق تتراوح بين ٥% وحتى ٧% بالوزن يجب أن يدون الحد الأعلى من ٧% على الشكارة أو أذن التسليم للأسمنت.

* الرماد السيليسي المتطاير (V)

هو مسحوق ناعم من حبيبات معظمها كروية الشكل لها خصائص بوزولانية وتتكون بشكل أساسي من ثاني أكسيد السليكون الفعال (SiO_2) وأكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) والباقي يحتوي على أكسيد الحديديك (Fe_2O_3) وبعض المركبات الأخرى ويجب أن تكون نسبة أكسيد الكالسيوم الفعال أقل من ١٠% بالوزن ويجب أن لا يتجاوز محتوى أكسيد الكالسيوم الحر عن ١% بالوزن عند تعيينه بالطريقة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن كذلك يمكن أن يقبل الرماد السيليسي المتطاير الذى يحتوى على أكسيد الكالسيوم الحر بنسبة وزنية أعلى من ١% بالوزن ولكن أقل من ٢,٥% بالوزن على أن لا يزيد التمدد (ثبات الحجم) عن ١٠ مم باستخدام خليط مكون من ٣٠% بالوزن من الرماد السيليسي المتطاير

و٧٠% بالوزن من الأسمنت CEM 1 المطابق لهذه المواصفة ويجب أن لا يقل محتوى ثاني أكسيد السيليكون الفعال عن ٢٥% بالوزن.

* الرماد الكلسي المتطاير (W)

هو مسحوق ناعم له خصائص هيدروليكية أو بوزولانية يتكون أساسا من أكسيد الكالسيوم الفعال (CaO) وثاني أكسيد السيليكون الفعال (SiO_2) وأكسيد الألومنيوم (Al_2O_3) بالإضافة إلى احتواءه على أكسيد الحديديك (Fe_2O_3) وبعض مركبات أخرى ويجب أن لا تقل نسبة أكسيد الكالسيوم الفعال عن ١٠% بالوزن، ويجب أن يحتوى الرماد الكلسي المتطاير على (١٠-١٥) % بالوزن من أكسيد الكالسيوم الفعال ونسبة لا تقل عن ٢٥% بالوزن من ثاني أكسيد السيليكون الفعال ويجب أن لا تقل مقاومة الضغط عند عمر ٢٨ يوما للرماد الكلسي المتطاير المطحون بدرجة كافية والمحتوى على أكثر من ١٥% من أكسيد الكالسيوم الفعال عن ١٠ نيوتن/مم^2 وذلك عند اختباره طبقا للمواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن ويجب طحن الرماد الكلسي المتطاير قبل الاختبار بحيث تصبح النعومة معبرا عنها بالنسبة المئوية المحجوزة وذلك باستخدام الطريقة الرطبة للنخل على منخل مقاس فتحته ٤٠ ميكرون تقع بين (١٠-٣٠) % بالوزن.

يجب أن تحضر مونة الاختبار من الرماد الكلسي المتطاير المطحون فقط بدلا من الأسمنت وتفك قوالب اختبار المونة بعد مرور ٤٨ ساعة على إعداده وبعد ذلك يتم المعالجة فى جو رطوبته النسبية لا تقل عن ٩٠% لحين الاختبار ويجب ألا يتجاوز التمدد للرماد الكلسي المتطاير على ١٠ مليمتر وذلك عند اختباره حسب المواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن باستخدام خليط مكون من ٣٠% بالوزن من الرماد الكلسي المتطاير المطحون الوارد وصفه فى هذا البند و٧٠% بالوزن من أسمنت البورتلاندى CEM 1 المطابق لهذه المواصفة.

ملحوظة :

إذا تجاوز محتوى الكبريتات (SO_3) فى الرماد المتطاير الحد الأعلى المسموح فى الأسمنت فيجب عندئذ أخذ هذا بعين الاعتبار عند تصنيع الأسمنت وذلك بالتقليل المناسب لمكونات الأسمنت المحتوية على كبريتات الكالسيوم.

٤- الطفل المحروق (T)

ينتج الطفل المحروق وبالتحديد طفل الصخر الزيتي فى أفران خاصة عند درجات حرارة تقارب ٨٠٠° مئوية ويحتوى الطفل المحروق (بسبب تركيب مواده الطبيعية) وعملية إنتاجه على أطوار للكلنكر، وبشكل رئيسي سيليكات ثنائي الكالسيوم و ألومينات أحادى الكالسيوم، ويحتوي أيضا بالإضافة إلى ذلك على نسبة قليلة من أكسيد الكالسيوم الحر و كبريتات الكالسيوم ونسبا أعلى من الأكاسيد الفعالة بوزولانياُ، خاصة ثاني أكسيد السيليكون وتبعاً لذلك يظهر الطفل المحروق فى حالة الطحن الناعم خصائص هيدروليكية واضحة مثل الأسمنت البورتلاندى بالإضافة إلى الخصائص البوزولانية ويجب أن لا تقل مقاومة الضغط للطفل المحروق المطحون بدرجة كافية عن ٢٥ نيوتن/مم^2 عند عمر ٢٨ يوما عند اختباره طبقا للمواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن.

يجب أن تحضر مونة الاختبار من الطفل المحروق المطحون فقط بدلا من الأسمنت وتفك قوالب نماذج المونة بعد مرور ٤٨ ساعة على تحضيره وبعد ذلك تتم المعالجة فى جو رطوبته النسبية لا تقل عن ٩٠% لحين الاختبار ويجب أن لا يزيد تمدد الطفل المحروق عن ١٠ مليمتر وذلك عند اختباره حسب المواصفة القاسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن باستخدام خليط مكون من ٣٠% بالوزن من الطفل المحروق المطحون و٧٠% بالوزن من الأسمنت **CEM 1** المطابق لهذه المواصفة.

٥- الحجر الجيري (L , LL)

يجب أن يحقق الحجر الجيري الاشتراطات التالية:

أ- يجب أن لا يقل محتوى كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) المحسوب من محتوي أكسيد الكالسيوم عن ٧٥% بالوزن.

ب-يجب أن لا يزيد محتوى الطفل عن ١,٢ جرام / ١٠٠ جرام بطريقة اختبار أزرق المثيلين طبقا للمواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن. ولإجراء هذا الاختبار يجب أن يطحن الحجر الجيري إلى نعومة تقارب المساحة السطحية النوعية ٥٠٠٠ سم^2/جرام. حسب المواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن.

جـ- يجب أن يطابق المحتوى الكلى للكربون العضوي أحد المعايير التالية:

LL يجب أن لا يتجاوز المحتوى الكلى للكربون العضوي ٠,٢ % بالوزن.

L يجب أن لا يتجاوز المحتوى الكلى للكربون العضوي ٠,٥ % بالوزن.

وذلك عند اختباره طبقا للمواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن.

٦- غبار السيليكا (D)

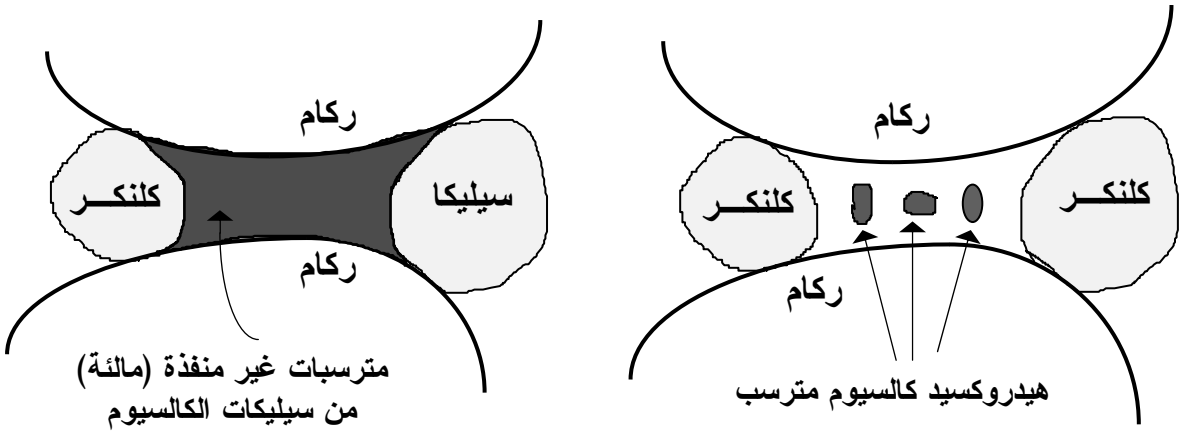
ينتج غبار السيليكا من اختزال الكوارتز الفائق النقاوة بالفحم فى أفران القوس الكهربائي عند إنتاج سبائك الفيروسيليكون ويتكون غبار السيليكا من حبيبات كروية فائقة النعومة تحتوي على ٨٥% بالوزن كحد أدنى من ثاني أكسيد السيليكون اللابلوري. مادة غبار السيليكا **Silica Fume** هي مادة تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالى أربعة إلى خمسة أمثال المساحة السطحية للأسمنت (٢٠٠٠٠ سم٢/جم) وهى ناتج ثانوي **Byproduct** فى صناعة سبائك السيليكون والفيروسليكون. وتتفاعل مادة غبار السيليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سيليكات الكالسيوم المماهة والتى لا تذوب فتؤدى إلى تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية كما هو موضح فى شكل (٣-٢).

يجب أن يحقق غبار السيليكا الاشتراطات الآتية:

أ- يجب أن لا يزيد الفقد بالحرق عن ٤% بالوزن وذلك عند اختباره حسب المواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن باستخدام الحرق لمدة ساعة واحدة.

ب- يجب أن لا تقل المساحة السطحية النوعية لغبار السيليكا الغير معالج عن ١٥م^{٢}/جرام وذلك عند الاختبار طبقا للمواصفة القياسية المصرية الصادرة فى هذا الشأن.

يمكن لغبار السيليكا أن يكون بحالته الطبيعية أو مضغوطا أو محببا مع الماء لأغراض طحنه مع الكلنكر و كبريتات الكالسيوم.



عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على غبار السيليكا

عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على أسمنت بورتلاندى

شكل (٣-٢) دور غبار السيليكا فى تحسين منفذية الخرسانة.

المكونات الإضافية الضئيلة

هى مكونات تضاف على الأسمنت بنسبة لا تزيد عن ٥% بالوزن وتختار بعناية من مواد طبيعية معدنية غير عضوية أو من مواد معدنية غير عضوية مشتقة من عملية إنتاج الكلنكر. المكونات الإضافية الضئيلة، بعد تحضيرها بشكل مناسب مع الأخذ فى الاعتبار تدرج مقاس حبيباتها، وتحسن الخصائص الطبيعية للأسمنت مثل قابلية التشغيل أو الاحتفاظ بالماء، ويمكن أن تكون غير فعالة أو ذات خصائص هيدروليكية بطيئة أو خصائص هيدروليكية كامنة أو بوزولانية. يجب أن تحضر المكونات الإضافية الضئيلة بشكل صحيح من حيث اختيارها وتجانسها وتجفيفها وطحنها بناء على حالتها عند الإنتاج أو التسليم ويجب أن لا تزيد من حاجة الأسمنت للماء بشكل ملحوظ، أو تعرض مقاومة الخرسانة أو المونة للتدهور بأي شكل كان أو تقلل من حماية تسليح الخرسانة للصدأ.

كبريتات الكالسيوم

يضاف كبريتات الكالسيوم إلى مكونات الأسمنت الأخرى خلال تصنيعه للتحكم فى عملية الشك، ويمكن أن تكون كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4 2H_2O$) أو كبريتات الكالسيوم الحاوية على نصف جزئ ماء ($CaSO_4$ ½ H_2O) أو كبريتات الكالسيوم اللامائية ($CaSO_4$) أو أى خليط منها، يوجد الجبس و كبريتات الكالسيوم اللامائية فى الطبيعية ويمكن الحصول أيضا على كبريتات الكالسيوم كمنتج ثانوي لعمليات صناعية معينة.

الإضافات

يقصد بالإضافات فى المواصفات القياسية المصرية المكونات التى لم ترد فى بنود المكونات الرئيسية للأسمنت أو المكونات الإضافية والتى تضاف لتحسين عملية التصنيع أو تحسين خصائص الأسمنت، يجب أن لا يزيد مجموع نسبة الإضافات على ١% من الأسمنت (ماعدا الملونات) ويجب أن لا تزيد نسبة الإضافات العضوية على أساس الوزن الجاف عن ٠,٥% بالوزن من الأسمنت يجب أن لا تؤدى الإضافات إلى صدأ حديد تسليح الخرسانة أو تضعف خصائص الأسمنت أو الخرسانة أو المونة المستخدم فيهما هذا الأسمنت، يجب أن تدون أى رموز قياسية عن إضافات الأسمنت المستخدم فى الخرسانة أو المونة أو مواد الحقن على عبوات الأسمنت أو أذن تسليم الأسمنت.

وفيما يلي عرض لأنواع الأسمنت المختلفة النسب والمكونات حيث أنه يبين الجدول (٣-١٢) السبعة وعشرين منتجاً ضمن عائلة الأسمنت التى تنتمي إلى المواصفة المصرية الجديدة للأسمنت البورتلاندى بالإضافة إلى رموزها والتى تم حصرها إلى خمسة مجموعات رئيسية من الأسمنت كالآتي:

- الأسمنت البورتلاندى (CEM 1)
- الأسمنت البورتلاندى المركب (CEM 2)
- أسمنت خبث الأفران العالية (CEM 3)
- الأسمنت البوزولانى (CEM 4)
- الأسمنت المركب (CEM 5)

يجب أن يكون تركيب كل نوع من السبع وعشرين منتجاً ضمن أنواع الأسمنت الشائع طبقـــا لجـــدول (٣-١٢)

جدول (٣-١٢) أنواع الأسمنت البورتلاندى العادي

المجموعات الرئيسية	أنواع الأسمنت الشائع		التركيب (بالوزن)									
			المكونات الرئيسية									مكونات إضافية ضئيلة
			كلنكر K	خبث الأفران S العالية	غبار السيليكا D	البوزولانا		الرماد المتطاير		الطفل المحروق T	الحجر الجيري	
						طبيعية P	طبيعية مكلسنة Q	سيليسي V	كلسي W		L	LL
CEM 1	أسمنت بورتلاندى	CEM 1	١٠٠-٩٥	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM 2	أسمنت بورتلاندى خبث الأفران	CEM2/A-S	٩٤-٨٠	٢٠-٦	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM2/B-S	٧٩-٦٥	٣٥-٢١	-	-	-	-	-	-	-	-
	أسمنت بورتلاندى غبار السيليكا	CEM2/A-D	٩٤-٩٠	-	١٠-٦	-	-	-	-	-	-	-
	أسمنت بورتلاندى بوزولاني	CEM2/A-P	٩٤-٨٠	-	-	٢٠-٦	-	-	-	-	-	-
		CEM2/B-P	٧٩-٦٥	-	-	٣٥-٢١	-	-	-	-	-	-
		CEM2/A-Q	٩٤-٨٠	-	-	-	٢٠-٦	-	-	-	-	-
		CEM2/B-Q	٧٩-٦٥	-	-	-	٣٥-٢١	-	-	-	-	-
	أسمنت بورتلاندى الرماد المتطاير	CEM2/A-V	٩٤-٨٠	-	-	-	-	٢٠-٦	-	-	-	-
		CEM 2/B-V	٧٩-٦٥	-	-	-	-	٣٥-٢١	-	-	-	-
		CEM 2/A-W	٩٤-٨٠	-	-	-	-	-	٢٠-٦	-	-	-
		CEM 2/B-W	٧٩-٦٥	-	-	-	-	-	٣٥-٢١	-	-	-
	أسمنت بورتلاندى الطفل المحروق	CEM 2/A-T	٩٤-٨٠	-	-	-	-	-	-	٢٠-٦	-	-
		CEM 2/B-T	٧٩-٦٥	-	-	-	-	-	-	٣٥-٢١	-	-

CEM 2	أسمنت بورتلاندى الحجر الجيري	CEM 2/A-L	٩٤-٨٠	-	-	-	-	-	-	-	٢٠-٦	-	صفر -٥
		CEM 2/B-L	٧٩-٦٥	-	-	-	-	-	-	-	٣٥-٢١	-	صفر -٥
		CEM 2/A-LL	٩٤-٨٠	-	-	-	-	-	-	-	-	٢٠-٦	صفر -٥
		CEM 2/B-LL	٧٩-٦٥	-	-	-	-	-	-	-	-	٣٥-٢١	صفر -٥
	أسمنت بورتلاندى مركب	CEM 2/A-M	٩٤-٨٠	٢٠-٦									صفر -٥
		CEM 2/B-M	٧٩-٦٥	٣٥-٢١									صفر -٥
CEM 3	أسمنت خبث الأفران العالية	CEM 3/A	٦٤-٣٥	٦٥-٣٦	-	-	-	-	-	-	-	-	صفر -٥
		CEM 3/B	٣٤-٢٠	٨٠-٦٦	-	-	-	-	-	-	-	-	صفر -٥
		CEM 3/C	١٩-٥	٩٥-٨١	-	-	-	-	-	-	-	-	صفر -٥
CEM 4	أسمنت بوزولاني	CEM 4/A	٨٩-٦٥	-	٣٥-١١						-	-	صفر -٥
		CEM 4/B	٦٤-٤٥	-	٥٥-٣٦						-	-	صفر -٥
CEM 5	أسمنت مركب	CEM 5/A	٦٤-٤٠	٣٠-١٨	-	٣٠-١٨					-	-	صفر -٥
		CEM 5/B	٣٨-٢٠	٥٠-٣١	-	٥٠-٣١					-	-	صفر -٥

الباب الرابع

الركام Aggregates

٤-١ مقدمة

عموماً تتكون الخرسانة من ركام متدرج من حبيبات صغيرة وحبيبات كبيرة متماسكة مع بعضها البعض بمادة لاحمة هى عجينة الأسمنت. أى أن الخرسانة عبارة عن ركام وأسمنت وماء، ومع أن الأسمنت متفاعلاً مع الماء مكونا عجينة الأسمنت المتصلدة والمسؤلة بشكل كاف عن المقاومة إلا أنه يصعب عمل وتصنيع الخرسانة من الأسمنت والماء فقط لسببين أساسين هما التكلفة العالية والتغير الحجمى العالى لعجينة الأسمنت (الانكماش والزحف)، ولذلك يمكن التغلب على هذه المشاكل باستخدام الركام كعنصر أساسى متحداً مع عجينة الأسمنت ومكوناً الخرسانة. ويستخدم ركام الخرسانة كمادة مالئة نسبياً لا يدخل فى تفاعلات كيميائية معقدة مع الماء، إلا أن هذه النظرة المبسطة لدور الركام فى الخرسانة نظراً للدور الفعال الذى يقوم به الركام فى تحديد كثير من الخواص الهامة للخرسانة. ويمثل الركام من (٦٠-٨٠%) من حجم الخلطة الخرسانية والذى ينظر إلى محتواه كموالئ رخيصة التكلفة نسبياً، إلا أنه له تأثير كبير على مقاومة الخرسانة للأحمال التى تتعرض لها وعوامل البرى وفعل لعوامل الجوية المختلفة (حرارة – برودة – جفاف – بلل) وتحمل الخرسانة مع الزمن، وكذلك تأثيره المفيد جداً فى إنقاص التغيرات الحجمية الناتجة من عجينة الأسمنت ورطوبة الخرسانة. كما أن نوع الركام يدخل فى تحديد التكلفة الإجمالية والتشغلية للخطات الخرسانية. أما صفات الركام الأساسية المرتبطة بتكنولوجيا الخرسانة هى:

- التدرج الحبيبى أو توزيع مقاساته.
- المسامية.
- الرطوبة الممتصه بالركام.
- شكل الركام ونسيج سطحه.
- مقاومة التهشيم والبرى.
- معاير المرونة.
- نوع المواد الضارة التى يحتويها.

وقد يكون الركام المستخدم إما طبيعياً، وهو يمثل أكثر من (٩٠%) من كل الركام المستخدم فى صناعة الخرسانة أو مصنعا مثل المنتجات الثانوية بجانب الإنتاج الصناعي كخبث الأفران العالية، الرماد المتطاير ومخلفات الصرف وركام الخرسانة المعاد تدويرها.

٤-٢ تصنيف الركام

٤-٢-١ التصنيف العام

بالنسبة للتصنيف العام للركام يمكن تقسيمة إلى مجموعتين:

المجموعة الأولى: الركام من المصادر الطبيعية

وهو الركام المستخرج من المصادر الطبيعية على أن يكون على حالته الطبيعية بدون تغيير أثناء خطوات الانتاج، إلا فى بعض الحالات التى يتم فيها تغيير مقاس الركام المستخدم أو غسيله أو تكسيره ولكن بدون أى تدخل فى طبيعة تكوينه. ويتكون ركام الخرسانة غالباً من الرمل والزلط والصخر المكسر مثل الحجر الجيرى والدلوميت والجرانيت وأحياناً حبيبات خام الحديد والحجر الخفاف وكلها جميعا من الركام الطبيعى.

المجموعة الثانية: الركام الصناعى

ويتضمن الركام الصناعي ما يأتي:

- الركام المنتج بواسطة التسخين الحرارى مثل الطين المحروق والفيرموكليت وهو يستخدم كركام خفيف.
- الركام الناتج كمنتج ثانوي (by-product) بجانب الانتاج الرئيسي مثل ركام خبث الأفران العالية والرماد المتطاير.
- الركام الناتج من إعادة تدوير الخرسانات القديمة المزالة أو من مخلفات عمليات الإنشاء أو التشطيب.
- الركام الملون للخرسانة المعمارية وأغراض الزينة مثل حبيبات الزجاج والسيراميك.

كذلك يمكن تصنيف الصخور تبعاً لمصادرها الأصلية إلى ثلاثة مجاميع رئيسية:

١- **الصخور النارية**: وهي التي تكونت عند تبريد الصخر من الحالة السائلة إذا كان ذلك فوق أو تحت أو قريبا من سطح الأرض، وعليه تتباين فى خواصها وصفاتها تبعا للمعدلات التى بردت عليها الصخور السائلة عند زمن تكوينها.

٢- **الصخور الرسوبية**: هي تلك الصخور الطبقية التي ترسبت تحت سطح الماء، إلا أنها تجمعت بواسطة الرياح أو الفعل الجليدى. وأنتجت الصخور الرسوبية السليسية من الصخور النارية المتواجدة. ويوجد كذلك ثلاث مجاميع للصخور الرسوبية معتمده على أسلوب الترسيب لها أو الاندماج وهي:

- ترسيب ميكانيكي إما فى حالة مندمجة طبيعيا أو غير مندمجة. مثل (الزلط والرمل والطمي والطين)
- ترسيب ميكانيكي واندماج غالبا بواسطة أسمنتات كيميائية. مثل (الحجر الرملي و الدلوميت والبازلت الرمادي).
- ترسيب كيميائي واندماج. (مثل الصوان والطزان)

ومن الصخور الرسوبية أيضا الصخور الكربونية منها ما هو يقدر مع الصخور الرسوبية ومنها ما هو مع الصخور المتحولة.

الصخور المتحولة: وهى أصلاً إما صخور نارية أو صخور رسوبية، وهى الصخور التى غيرت نسيجها الأصلي وتكوينها البلوري نتيجة تعرضها لظروف طبيعية أو كيميائية. ومن أمثلة الصخور المتحولة بعضاً من أنواع الكوارتزيت ومن الأحجار الكربونية مثل الدلوميت المتحول والرخام. والصخور المتحولة صخور كثيفة قد تستخدم فى إنتاج أنواع من الخرسانات الخاصة مثل الخرسانة عالية المقاومة.

٤-٢-٢ تصنيف الركام تبعاً لخواصه المميزة

يمكن تقسيم حبيبات الركام بالنسبة للخواص المميزة المختلفة كما يأتي:

أ- بالنسبة للمقاس

لمقاس حبيبات الركام تأثيراً كبيراً على خواص الخرسانة لذلك يجب تصنيفها طبقا لمقاسها كما يلي:

١- **الركام الصغير**: وهو الركام الذى تقل مقاسات حبيباته عن ٤,٧٥ مم، وعليه يحتوى الركام الصغير على حبيبات يتراوح مقاساتها بين ٠,٠٧٥ مم و ٤,٧٥ مم. والركام الصغير أيضا هو مجموعة الحبيبات التى يمر معظمها بنسبة (٩٥% - ١٠٠%) من المنخل القياسي ٤,٧٥ مم.

٢- **الركام الكبير**: هو الركام الذى له حبيبات تزيد عن ٤,٧٥ مم فى مقاساتها، وتتراوح مقاسات حبيبات الركام الكبير بين ٤,٧٥ مم حتى ١٥٠ مم. وهو أيضا مجموعة الحبيبات التى يحتجز معظمها بنسبة (٩٥ إلى ١٠٠%) على المنخل القياسي ٤,٧٥ مم، ولا تزيد ما يمر منها من هذا المنخل عن النسب المسموح بها فى حدود التدرج المذكورة فى الموصفات القياسية.

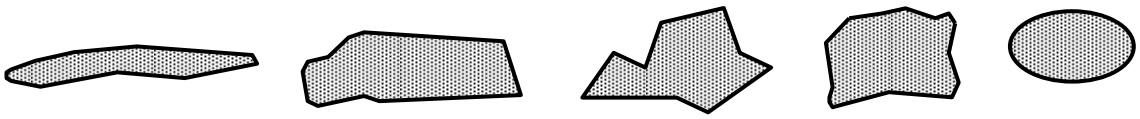
٣- **الركام الشامل** وهو الخليط المطلوب من الركام الصغير والركام الكبير بالنسب المطلوبة فى الخلطة الخرسانية.

ولتأثير مقاس الركام على خواص الخرسانة تأثير واضح يظهر مثلاً إذا استخدم ركام صغير المقـــاس فى الخرسانة، نجد أن المساحة السطحية لحبيبات الركام الصغيرة تزيد عنها من الركام الكبير ولهذا فإن هذه المساحة السطحية الكبيرة تحتاج إلى كمية أكثر من ماء الخلط لتغلف كل المساحة السطحية للحبيبـــات للوصول إلى التشكيلة المناسبة للخرسانة، ولكن هذه الكمية الكبيرة من المـــاء تـــنقص مـــن مقاومـــة الخرسانة. وكذلك أيضا تحتاج إلى عجينة أسمنتية أكبر لتغليف هذه المساحة السطحية الكبيرة للركـــام وهذا له تأثير على تكلفة المتر المكعب من الخرسانة.

ب- بالنسبة لشكل الحبيبات

يتم تقسيم شكل حبيبات الركام إلى الأشكال الآتية كما هى موضحة فى شكل (٤-١):

- حبيبات مستديرة
- حبيبات غير منتظمة
- حبيبات زاوية
- حبيبات مفلطحة
- حبيبات عصوية
- حبيبات مفلطحة ومستطيلة



شكل (٤-١) شكل حبيبات الركام

ويبين جدول (٤-٣) تصنيف شكل الحبيبات تبعا للموصفات المصرية

جدول (٤-٣) تصنيف شكل الحبيبات تبعاً للمواصفات المصرية

التصنيف	الوصف	أمثلة
الحبيبات المستديرة	التى حدث لها تآكل كلي بالماء أو التى حدث لها تشكل كلي بالاحتكاك.	زلط الأنهار والبحار، رمال الأنهار والبحار أو الرمال المنقولة بالرياح (شكل (٤-١-أ))
غير منتظمة	وتوجد غير منتظمة فى الطبيعة أو التى شكلت جزئيا عن طريق التآكل بالاحتكاك ولها أحرف مستديرة	أنواع أخرى من الزلط وحجر الصوان أو زلط الحفر (شكل (٤-١-ب))
الزاوية	والتى لها أحرف واضحة التحديد ناتجة عند تقاطعات أسطح مستوياتها الخشنة.	الصخور المكسرة من كل الأنواع،الخبث المكسر، ركام المنحدرات (شكل (٤-١-جـ))
المفلطحة	وهى الركام الذى يكون سمكه قليل بالنسبة للبعدين الآخرين.	الصخور الطبقية (شكل (٤-١-د))
العصوية	مواد غالبا زواية، وفيها الطول يزيد كثيرا عن البعدين الآخرين.	(شكل (٤-١-هـ))
المفلطحة والمستطيلة	مواد طولها أكبر كثيراً من العرض والعرض أكبر كثيراً عن التخانة.	

جدول (٤-٤) تصنيف سطح حبيبات الركام تبعاً للموصفات المصرية

التصنيف	الصفات المميزة	أمثلة
زجاجى	ركام صدفى مكسر	صوان أسود
ناعم	ركام مصقول بفعل المياه أو نتيجة لكسر صخر طبقى أو صخر دقيق الحبيبات	الزلط، الاردواز، الرخام و بعض الصخور النارية
حبيبي	ركام يظهر فى مكسره حبيبات مستديرة منتظمة تقريباً	الحجر الرملى
خشن	ركام مكسرة خشن ذو حبيبات رقيقة أو متوسطة و يحتوى على بللورات لا ترى بسهولة واضحة	بازلت – فلسيت – حجر كربوني حديدي
بللوري	ركام يحتوى على بللورات	جرانيت – جايرو
معشش ومسامى	ركام به مسام وتجاويف واضحة	الحجر الخفاف

وقد يؤثر شكل حبيبات الركام كثيراً على مقاومة الخرسانة. وتتأثر مقاومة الخرسانة فى الانحناء بدرجة أكثر عن تأثير مقاومة الضغط بشكل الركام وخصوصا فى الخرسانة عالية المقاومة. حيث أن الحبيبات المستديرة أكثر قابلية للانضغاط عن مثيلاتها من الحبيبات الزاوية وبذلك يؤثر شكل الحبيبات على النسبة المئوية للفرغات وكذلك الحبيبات المستديرة تحتاج إلى عجينة أسمنت أقل منها عن الحبيبات الزاوية. هذا بالاضافة إلى أن الحبيبات المستديرة تعطي درجة عالية من التشغيل عن الحبيبات الزاوية والتى لها نفس الظروف. أما بالنسبة لحبيبات الركام غير المنتظمة الشكل فإنها تعطى خرسانة صعبة التشغيل وتحتاج إلى تغيير فى التدرج الحبيبي للوصول إلى درجة تشغيل أفضل، وتحتاج إلى زيادة كمية حبيبات الركام الصغيرة عن مثيلاتها من الحبيبات المستديرة. وتعطى حبيبات الركام المفلطح نتائج غير مرضية فى أعمال الخرسانة حيث أن استعمالها يؤدى إلى تفكك أثناء الانضغاط بالإضافة إلى زيادة مساحتها السطحية بشكل كبير جداً.

جـ- بالنسبة لنسيج سطح الحبيبات

يمكن تصنيف نسيج سطح حبيبات الركام إلى الآتى:

– زجاجى	– ناعم	– حبيبي
– خشن	– بلورى	– معشش ومسامى

ويوضح جدول (٤-٤) تصنيف نسيج سطح حبيبات الركام تبعا للمواصفات المصرية.

كما أن لمقاس وشكل حبيبات الركام تأثير على خواص الخرسانة، فإنه أيضا تؤثر حالة نسيج سطح حبيبات الركام إلى حد ما على مقاومة الخرسانة. فإن الحبيبات ذات السطح اللامعة لا تعطى خرسانة فى قوة الحبيبات ذات السطوح الخشنة قليلا، وقد يرجع ذلك إلى قوة التماسك بين سطح حبيبات الركام مع عجينة الأسمنت. أما بالنسبة للحبيبات ذات السطوح الناعمة فهي تحسن من قابلية التشغيل للخرسانة حيث أنها تقلل من الاحتكاك بين الحبيبات والعجينة أثناء الخلط. وكذلك أيضا كلما زادت نسبة المسامية فى نسيج سطح حبيبات الركام قلت مقاومة الخرسانة المنتجة منها عن حالة سطح الحبيبات ذو مسامية قليلة.

د- بالنسبة لوزن الركام

حيث أنه يمكن تقسيم الركام بالنسبة للوزن إلى الآتي:

١- **<u>الركام العادى الوزن</u>**: وهو الركام الذى يترواح وزنه الحجمى ما بين ١٥٠٠-١٨٠٠كجم/م^3 ومن أكثر الأنواع استخداماً الرمل والزلط وكسر الأحجار الجيرية والجرانيت والبازلت ويطلق عليه الركام الطبيعى والذى ينتج منه الخرسانة عادية الوزن والتى لها وحده وزن قد تصل إلى ٢٤٠٠كجم/م^3 تقريباً.

٢- **الركام خفيف الوزن**: ويسمى الركام ذى الكثافة الحجمية الأقل من ١١٠٠كم/م^3. ومنه الركام الطبيعي مثل الحجر الخفاف (٥٠٠-٨٠٠كجم/م^3) وخبث البراكين (٦٠٠-٩٠٠جم/م^3). ومنه الصناعي بواسطة التسخين الحراري عند درجات حرارة عالية مثل الطين الممد أو الليكا (٤٠٠-٧٠٠كجم/م^3) والفيرموكليت (٦٠-١٣٠ كجم/م^3) والطفل الصفحى المنفوخ والاردواز، ويطلق على تلك الأنواع بالركام الخفيف، والذى يستخدم فى إنتاج الخرسانة خفيفة الوزن والمستخدمة للأغراض الانشائية أو المعمارية أو فى أعمال المبانى أو أعمال العزل الحرارى وتلك الخرسانة يترواح وزنها الحجمى ما بين ٣٠٠-١٨٠٠كجم/م^3.

٣- **الركام ثقيل الوزن** : هو الركام الذى يزيد وزنه الحجمى عن ٢٨٠٠ كجم/م^3 . ومن الركام الثقيل خام الحديد ومعادن الباريوم وقطع الحديد المصنعة ، ويستعمل هذا الركام لإنتاج الخرسانة ثقيلة الوزن والتى لها كثافة تزيد عن ٣٠٠٠ كجم/م^3 والمستخدمة فى المنشآت الحامية للإشعاعات الذرية والخطيرة.

٤-٣ انواع الركام المحلية الاستخدام

من الضروري معرفة الأنواع شائعة الاستخدام من الركام المحلي فى مصر. ومنها الركام الطبيعى (رسوبي – أو متحول أو نارى) أو من الركام الصناعي ، وتلك الأنواع لها استخدامات متعددة فى الأعمال الأنشائية المختلفة .

٤-٣-١ الركام الطبيعى:

أ- **الرمل** : يعتبر الرمل من أنواع الركام الناعم الطبيعى والعادى الوزن ، وأيضا يعد الرمل من الصخور الرسوبية السليسية وهى حبيبات معدنية معظم مكوناتها من السليكا (ثانى أكسيد السليكون). ويستخرج الرمل عموما من مترسبات الأنهار ومن الكثبان الرملية ورمال الصحراء ، ولكن رمال مترسبات الأنهار هى الأكثر انواع الركام شيوعاً وملائمة للاعمال الخرسانية المختلفة . وبعد إستخراج الرمال من مصادرها يدويا أو ميكانيكا يتم فصل الرمل المطلوب عن الركام الخشن والكبير بالنخل على منخل ٤,٧٥ مم . وللرمل استخدامات عديدة بجانب استخدامه كركام صغير فى الخرسانة بانواعها ومنها استخدامه فى المون الأسمنتية لأعمال المبانى والبياض والبلاط وأعمال الردم والتسوية والاحلال بنفس حالته المستخرج عليها.

ب- **الزلط**: الزلط من الصخور الرسوبية السليسية كالرمل وبمقاس يحتجز على المنخل القياسى ٤,٧٥ مم أثناء فصله من الرمل ، ومعظم حبيباته مستديرة أو غير منتظمة وسطحه ناعم وهو ركام عادى الوزن ويستخرج الزلط من نفس مصادر استخراج الرمل . والزلط من أكثر الأنواع استخداما فى الخرسانة كركام خشن كبير.

جـ- **الأحجار المكسرة**: الأحجار المكسرة غالبا ما تستخدم فى أعمال الخرسانات كركام خشن بديل الزلط ، وعموماً الأحجار المكسرة يكون ركامها جيد التدرج ولكن غالى التكاليف نتيجة لمراحل تكسيرة. حيث أنه يوجد أنواع كثيرة من الكسارات تستعمل فى تكسير الأحجار وأفضل الكسرات هي التي تعطي حبيبات الركام المنتجة من التكسير تقريبا مكعبة الشكل وزاوية الأحرف والتى يكون لها ترابط أقوى مع العجينة الأسمنتية. ومن أهم انواع الأحجار المكسرة والمستخدمة كركام بالخرسانة هى كما يلى :

❶ الحجر الجيرى : وهو أكثر أنواع الأحجار الكربونية إنتشاراً. والحجر الجيرى أساساً من الكالسيت (كربونات كالسيوم) وهى من الصخور الرسوبية المتحولة من الكالسيت (حتى ٩٠% كربونات كالسيوم) إلى دولوميت (حتى ٩٠% كربونات ماغنسيوم) ماراً بمرحلتين مهمتين وهما الكالسيت الدولوميتى (٥٠ : ٩٠% كربونات كالسيوم) والباقى كربونات ماغنسيوم والمرحلة الأخرى الدولوميت الكالستى (٥٠ : ٩٠% كربونات ماغنسيوم والباقى كربونات كالسيوم) . وتعتبر انواع الحجر الجيرى الصلدة (دولوميت) ذات الكثافة العالية من المواد الصالحة للإستخدام كركام فى الخرسانة مع الأخذ فى الاعتبار تجنب الأنواع الضعيفة ذات المسامية العالية وقد تمكنا من استخدم الدولوميت كركام خشن فى أنواع الخرسانة عالية المقاومة فى معامل الكلية وقد وصلت مقاومة الضغط إلى أكثر من ١٠٠٠ كجم/سم^{٢} .

❷ الجرانيت : وهو من الصخور النارية المتداخلة طبيعياً من الأحجار المعدنية من السيليكا والتى عناصرها المعدنية الكوارتز والفلدسبار وتلك العناصر لها صلادة عالية جداً ، والتى تكون صخور الجرانيت والتى بعد تكسيرها تنتج ركاماً ممتازا لأعمال الخرسانة لأنه :

- له حبيبات متوسطة وكبيرة قوية وينتج بالتهشيم عنها حبيبات متقاربة الحجم.
- له مسامية ودرجة إمتصاص منخفضة جداً (كثافة عالية)
- لا يتفاعل قلوياً مع الأسمنت .

ويستخدم هذا الركام فى تصنيع وانتاج أعمال الخرسانة عالية المقاومة ، وقد تم إنتاج خرسانة عالية المقاومة بالجرانيت كركام خشن بمعامل كلية الهندسة بالمنصورة ووصلت مقاومتها للضغط ١١٠٠كجم/سم^{٢}

❸ البازلت : وهو من الصخور النارية الطبيعية ذات التداخل الجوفى غير العميق ، والبازلت من الأحجار المعدنية ذات المحتوى العالي من الكالسيوم ومنخفضة المحتوى من السيليكا. وحبيبات البازلت صغيرة صلدة ينتج عنها ركام جيد الاستخدام كركام خشن فى الخرسانات المختلفة. وبالرغم من تواجد الزجاج ضمن عناصر أحجار البازلت إلا أنه فى حالة متعادلة ، ولا تسبب حبيباته تفاعلاً قلوياً مع الأسمنت البورتلاندي.

❹ الحجر الرملى: وتلك الأحجار من الصخور الرسوبية ذات الترسيب الميكانيكى والتى يتم إندماجها غالبا بواسطة عناصر كيميائية. ويتكون الحجر الرملى من حبات من الصخور فى مقاس حجم الرمل ، فإن انكسر الصخر حول إلى حبيبات الرمل سمى حجر رملى وإذا انسكر الصخر خلال الحبيبات سمى كوارتزيت أما المواد اللاحمة للحجر الرملى فهى إما أوبال (جل السليكا)، أو كالسيت أو دولوميت أو طين أو هيدروكسيد كالسيوم. ويوجد نوع آخر وهو الحجر الرملي الرمادي والذى يحتوي على صخور زاوية لحجم الرمل متداخلة مع الطين والطفل وغالبا يستخدم الحجر الرملي الذى أساسه الكوارتز ومادته اللاحمة السليكا كركام بالخرسانة بدرجة مقبولة عن الأنواع الأخرى ذات المسامية ودرجة الامتصاص العالية للرطوبة والتى لها تأثير مباشر على خواص وجودة الخرسانة المنتجة.

ء- **الحجر الخفاف** : وهو ركام طبيعي يستخرج من المحاجر باحجام صغيرة نسبيا. وهو من نوع الركام خفيف الوزن وهو الذى يستخدم فى إنتاج الخرسانة خفيفة الوزن كركام أساسي فى إنتاج تلك الخرسانة، حيث أنه ينتج الوزن الخفيف من الطبيعة الخلوية والمسامية العالية للتكوين لهذا الركام.

هـ- **خامات الحديد**: وهى من مجموعة الصخور النارية والطبيعية والتى لها كثافة عالية جداً إذا ما قورنت بالأحجار المكسرة التقليدية السابقة ، ولهذا فإن خامات الحديد المكسرة ومعادن الباريوم وخامات التيتانيوم تستخدم كركام خشن ثقيل الوزن لإنتاج الخرسانة ثقلية الوزن.

٤-٣-٢ الركام الصناعى:

أ- **الركام من خبث الأفران العالية** : وهذا النوع من الركام من طائفة الركام الصناعى وأكثرها استخداماً فى أعمال الخرسانات الإنشائية. ونظراً لأن التبريد البطئ لخبث الأفران العالية فى قوالب وبواتق الحديد ، يتسبب فى الحصول على منتج ما ، إذا تم تكسيره وفصل تدريجاته الحبيبة فإنه يمكن الحصول على حبيبات كثيفة قوية مناسبة للإستخدام كركام للخرسانة وتتغير خواص هذا الركام تبعاً لتركيب ومعدل تبريد الخبث ، حيث أن الخبث الحامضى ينتج عنه ركام كثيف أما الخبث القاعدى فينتج عنه ركام خلوى مسامى. وعموماً يتراوح الوزن الحجمى لركام خبث الأفران العالية والمبرد ببطء ما بين ١١٠٠ إلى ١٤٠٠ كجم/م^3 ، وهذا الوزن للركام متوسط ما بين الوزن الحجمى للركام عادى الوزن والركام خفيف الوزن. وغالبا يستخدم هذا الركام كثيراً فى صناعة الخرسانة سابقة الصب مثل بلوكات المبانى وأعمدة الأسوار. كما أنه يجدر الإشارة إلى إمكانية إستخدام خبث الأفران العالية لإنتاج خرسانة خفيفة الوزن، وذلك بمعالجة خبث الأفران المنصهر بقليل من الماء أو البخار لينتج ركاماً منفوشاً ومنفوخاً له مسامية عالية بداخله ويسمى هذا الركام بالخبث المنفوخ أو الخبث المنفوش .

ب- **الطين الممدد(الليكا)** : وهذا النوع من الركام يتم الوصول إليه بحرق الطين فى قمائن حتى الانصهار ، ثم يتم تبريده فيتحول الطين إلى حبيبات كبيرة متمددة بها فراغات ومسام داخلية نتيجة للغازات المنبعثة أثناء عملية الحرق. وبعدها يتم تكسير هذه الحبيبات وفصلها بالنخل لتقسيم الحبيبات إلى مقاستها المطلوبة. وهذا الركام من النوع خفيف الوزن الصناعى والذى يستخدم فى انتاج الخرسانة خفيفة الوزن وفى الطوب الخفيف واعمال العزل الحرارى. وهذ الركام قد تصل كثافته المتوسطة إلى ٦٥٠ كجم/م^3. الشكل رقم (٤-٢) يوضح ركام الليكا بتدرجاته المختلفة.

جـ- **الفيرموكليت**: هى التى تمثل مجموعة معادن الميكا من سليكات الحديد والمنجنيز ، إلا أن تركيبها الداخلى هو المسئول عن إنفصالها الى قشيرات دقيقة وهى من مجموعة الصخور النارية والمتحولة. والفيرموكليت يينتفش بتسخين خامه المجفف والمطحون حتى درجة حرارة قد تصل إلى ٩٨٠ درجة مئوية ولمدة تتراوح ما بين ٤-٨ ثوانى فيزيد حجم حبيباته إلى حوالى ثلاثين مرة من حجمه الأصلى. وهذا الركام من الفيرموكليت خفيف الوزن جداً حيث أن وزنه الحجمى يتراوح ما بين ١٠٠-٢٠٠ كجم/م^3 ، ويستخدم فى انتاج الخرسانة خفيفة الوزن وفى أعمال العزل الصوتي. شكل (٤-٣) عبارة عن صورة لركام الفيرموكليت.

د- **الركام من إعادة تدوير الخرسانة**: تنتج البقايا من الخرسانة قطعاً صخرية ويمثل الجزء الأكبر لموكاناتها الركام الأصلى بها مرتباطاً مع عجينة الأسمنت المماهة والجبس. وتمثل المونة الأسمنتية المماهة والجبس الجزء الأصغر من مكوناتها وتعتبر كركام صغير ، ولا تصلح فى الاستخدام لصناعة الخرسانة الطازجة. إلا أن الجزء الكبير من مكوناتها والذى يمثل الركام الكبير المغلف بمونة الأسمنت ، يكون مناسباً لإعادة استخدامه مرة أخرى. وقد أظهرت بعض الأبحاث أن استخدام ركام معاد تدويره يعطي خرسانة لها ثلثي مقاومة الخرسانة الأصلية بالركام الطبيعى وأيضا لها معايير مرونة وتشغيلية ودرجة تحمل مقبولة. وعموماً فإن تكلفة تكسير مخلفات الهدم للخرسانة تعتبر العامل الأساسي فى تحديد إمكانية استخدامها مرة أخرى وكذلك الأخذ فى الاعتبار تدرجها الحبيبى والتحكم فى فصل الأتربة بها والمكونات غير المرغوب بها حيث أنها تمثل مشاكل كبيرة عند استخدامها مرة أخرى. والكاتب لا يميل إلى استخدام مثل هذا النوع من الركام فى الخرسانة .

شكل (٤-٢) ركام الليكا خفيف الوزن بتدرجاته الثلاث.

شكل (٤-٣) ركام الفيرموكليت خفيف الوزن بمقاسيه الناعم والخشن.

٤-٤ الخواص الطبيعية للركام:

إن خواص الركام الطبيعية والتى تؤثر على جودة الخرسانة تنحصر فى الآتي :

١- شكل ونسيج سطح حبيبات الركام.
٢- المسامية والامتصاص لحبيبات الركام.
٣- ترابط حبيبات الركام مع العجينة الأسمنتية.
٤- الثقل النوعى (الوزن النوعى) للركام.
٥- الكثافة الكلية (الوزن الحجمى) والفرغات بين حبيبات الركام.
٦- محتوى الرطوبة فى الركام.
٧- الزيادة الحجمية للركام الناعم.
٨- التدرج الحبيبي للركام.

وسوف يتم دراسة هذه الخواص الطبيعية للركام كل على حده لتوضيح وإدراك تأثير تلك الخواص للركام على جودة وخواص الخرسانة المنتجة من هذا الركام.

٤-٤-١ شكل ونسيج سطح حبيبات الركام

تعتبر الصفات الخارجية للركام وبالأخص شكل الحبيبات ونسيج سطحها من أهم الصفات المؤثرة على خواص الخرسانة فى حالتيها الطازجة والمتصلدة. وحيث أنه من الصعب تعريف الشكل الثلاثي لأبعاد الركام بشكل ثلاثي الأبعاد من الأشكال الهندسية، إلا أنه يمكن التعبير عنها ببعض الصفات الهندسية ومنها المستدير وغير المنتظم والزاوي والمفلطح والعصوي. فمثلاً استدارة حبيبات الركام هي أحد مظاهر شكل حبيبات الركام الكبير، والتى تعرف بنسبة المساحة السطحية لحبيبات الركام إلى حجمها الكلى. و الحبيبات التى نسبة مساحتها السطحية إلى حجمها عالية، تعطي درجة تشغيلية منخفضة للخلطة مثل الرمل الناعم ، وكذلك الحبيبات المستطيلة والعصوية تقلل من درجة تشغيل الخليط ويحتاج إلى كمية كبيرة من المواد الناعمة والماء لتغليف هذه الحبيبات لتعويض النقص فى تشغيلية الخرسانة. كما أن الحبيبات المفلطحة تؤثر بشكل عكسي على قابلية تشغيل ومقاومة الخرسانة وهى عموماً تتجه إلى توجيه نفسها إلى مستوي أفقى واحد يحتجز تحتها الفجوات وكمية من ماء الخلط، وبالتالي تمنع التماسك بينها وبين عجينة الأسمنت. ومن هذا المنطلق يجب أن نقلل كمية الركام المفلطحة فى الخلطة الخرسانية لتأثيرها السلبي عليها. أما حبيبات الركام الزاوية فإنها تحتاج إلى زيادة مونة الأسمنت للوصول إلى الدرجة المناسبة لتشغيل الخرسانة وبذلك تحتاج إلى زيادة ملحوظة فى كميات الأسمنت والماء، والتى بزيادة نسبة الماء/الأسمنت تقل مقاومة الضغط للخرسانة.

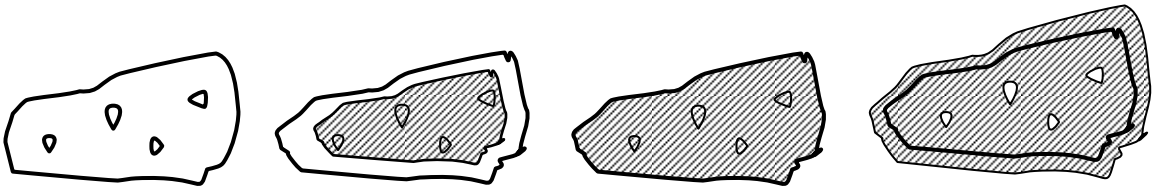
وتعتمد حالة السطح لحبيبات الركام على درجة النعومة والخشونة لسطح الحبيبات وكذلك أيضا على صلادة نسيج السطح ومقاس الحبيبات والفجوات الأساسية بمادة الركام وتقدر تلك الصفات بالفحص البصري وتوضح المواصفات المصرية تصنيف حالة نسيج السطح للركام بانه سطح زجاجى أو ناعم او حبيبي أو خشن او بللوري أو مسامي لذلك فإن حالة السطح تؤثر أيضا على درجة تشغيله لخلطة الخرسانة وأيضا تؤثر على مقاومة الخرسانة.

٤-٤-٢ المسامية والامتصاص لحبيبات الركام

توجد بعض من أنواع حبيبات الركام به من الداخل مسام وفراغات ، وتلك المسام المتصلة أو المنعزلة أما فارغة أو مملوءة بعناصر كيميائية مترسبة مثل الكوارتز او بقايا غير ذائبة مثل الطين أو أى مواد غريبة. حيث أن مسامية حبيبات الركام تؤثر على خواص ودرجة التماسك والترابط بين حبيباته وعجينة الأسمنت ، وكذلك على مقاومة الركام للصقيع والإذابة وأيضا على الإتزان الكيميائي ومقاومة التآكل بالاحتكاك ، ويتأثر الوزن النوعى الظاهري للركام والمعتمد على مسامية الركام وبالتبعية يتأثر وزن الخرسانة وخواصها. وعموماً فإن الفراغات والمسام تؤثر على الخواص الطبيعية والكيميائية والميكانيكية للركام وبالتالي تؤثر على نفس الخواص للخرسانة ، ويتوقف هذا التأثير على تغير حجم الفراغات إذا كان داخل مادة الركام الصلبة أو على سطح حبيبات الركام.

والفراغات فى الركام تزيد من قدرته على الامتصاص للماء والسوائل لأنها تتغلغل فى تلك الفراغات معتمدة على مقاس الفراغات واستمراريتها أو انعزالها وعلى حجمها الكلى، ولكن يصعب تغلغل العجينة الأسمنتية للزوجتها أو وجود مواد مترسبة فى الفراغات . وتظهر الفراغات أكثر فى الأحجار المكسرة مثل ركام الأحجار الجيرية والتى قد تصل درجة المسامية بها إلى ٣٧% من حجمه والكوارتزيت قد تصل إلى ١٥% والجرانيت قد تصل إلى ٣,٨% من حجم الركام المستخدم، وحيث أن الركام يمثل تقريبا ثلاثة أرباع حجم الخرسانة ، فإنه من الواضح أن تؤثر مسامية الركام بدرجة عالية على مسامية الخرسانة كلها.

وعموماً يقال أن الركام مشبع وجاف السطح ، عندما تملأ كل فراغاته الداخلية أما إذا كان هذا الركام متروك فى الهواء فيتبخر جزء من الماء الموجود بداخل فراغات هذا الركام، ويصبح أقل تشبعاً. ويقلل التجفيف الطويل فى الأفران للركام من محتوى الرطوبة به ، حتى يفقد الركام كل رطوبته كما هو مبين بالشكل (٤-٤) والذى يوضح المراحل المختلفة لدرجات الرطوبة



شكل (٤-٤) المراحل المختلفة للرطوبة فى الركام

ويمكن قياس إمتصاص الركام للماء وذلك بحساب الزيادة فى الوزن بين الركام المجفف فى الفرن عند غمره فى الماء لمدة أربعة وعشرون ساعة وإزالة الرطوبة السطحية منه. حيث أن درجة الامتصاص تمثل النسبة المئوية بين الزيادة فى الوزن للركام المختبر فى الماء إلى وزن الركام الجاف تماماً. وعلى الرغم من عدم وجود علاقة مباشرة وواضحة بين درجة امتصاص الركام للماء ومقاومة الخرسانة ، إلا أن الفراغات السطحية علىالركام تؤثر على درجة الترابط بين الركام وعجينة الأسمنت المحيطة بها ، وبالتبعية قد تؤثر على مقاومة الخرسانة.

ويفضل دائماً وجود الركام فى حالة مشبعة ذات سطح جاف، خلال فترة شك الخرسانة ولكن إذا استخدم الركام وهو فى حالة جافة، فإنه يلزم إضافة ماء كاف للسماح بامتصاصه من قبل الركام فى الخليط حتى يصل الركام إلى حالة التشبع ذى السطح الجاف، ولا يحسب هذ الماء الممتص فى كمية الماء المؤثرة أو الحرة فى الخلطة الخرسانية. وقد يكون محتملاً أن تغلف حبيبات الأسمنت ، حبيبات الركام ذى السطح الجاف قبل وصوله إلى درجة التشبع وقد يحدث هذا للركام الكبير لصعوبة تحرك الماء خلال حبيباته الكبيرة عن الركام الصغير. وبالطبع تصبح نسبة الماء/الأسمنت الكلية أعلى من المفروض أن تكون عند سهولة امتصاص الركام للماء. ويزداد وضوح هذه الظاهرة فى الخلطات الغنية ، نتيجة سرعة تغليف حبيبات الأسمنت الكثيرة نسبيا للركام الكبير، عن الخلطات الفقيرة الرطبة التى ياخذ الامتصاص مجراه الطبيعي. وقد يؤثر ترتيب إضافة المكونات إلى الخلاط على معدلات الإمتصاص هذه من الناحية العملية. ويزيد إمتصاص الركام للماء من معدل فقد التشغيلية للخرسانة مع الزمن، إلا ان الفاقد يعتبر قليلاً بعد مرور خمسة عشر دقيقة من الخلط . وقد يعمل الماء الممتص هذا على المساعدة فى معالجة الخرسانة بعد إماهتها الإبتدائية وبدء جفافها، وقد يؤثر فى المعالجة الذاتية الداخلية للأسمنت، إذا لم يتم معالجتها بأسلوب جيد أو لم يتم حفظ ما بها من رطوبة بواسطة رشها بمحاليل المعالجة أو بالماء .

٤-٤-٣ ترابط حبيبات الركام مع العجينة الأسمنتية

خاصية الترابط أو التماسك بين حبيبات الركام والعجينة الأسمنتية المحيطة بها تعتبر من أهم الخواص التى تؤثر على جودة ومقاومة الخرسانة وبالأخص مقاومة الانحناء. وعموماً تتوقف قوة الترابط بين العجينة الأسمنتية والركام على خواص شكل وحالة سطح حبيبات الركام، وكذلك تتأثر قوة التماسك هذه ببعض الخواص الطبيعية والكيميائية للركام. حيث أن الترابط جزئيا ينتج من التشابك البيني بين حبيبات الركام وعجينة الأسمنت والناتج من خشونة سطح حبيبات الركام ، وعليه فإن السطح الخشن للركام يولد ترابطاً أقوى من الأسطح الناعمة.

وقد تؤثر التفاعلات الكيميائية الحادثة بين الركام وقلويات الأسمنت والتى تعمل على تحليل أو ذوبان أسطح الركام وتقليل قوة التماسك بين عجينة الأسمنت والركام. إلا أنه فى بعض الحالات يحدث العكس وذلك بالترابط الكيميائى الجيد لبعض الصخور مثل الحجر الجيرى والدلوميت مع عجينة الأسمنت والتى ينتج من هذا الترابط الكيميائي قوى شعرية على أسطح الركام لتزيد من ترابطه مع عجينة الأسمنت.

وعندما تعرض العينة الخرسانية للتهشيم ، نستطيع أن نعين قوة التماسك بين حبيبات الركام وعجينة الأسمنت حيث أنه يوجد حالتين مختلفتين للكسر يظهر خلالهما قوة الترابط بين عجينة الأسمنت وحبيبات الركام وهما:

- يظهر الكسر حول حبيبات الركام وليس من خلالها ، وهذا يبين أن قوة الترابط ضعيفة.
- يظهر الكسر خلال حبيبات الركام وهذا يبين أن قوة الترابط عالية

وقد يشير أيضا أن حدوث الكسر فى حبيبات الركام يكون عن ضعف تلك الحبيبات مع وجود قوة ترابط عالية . وقد يكون أيضا لزمن إختبار الخرسانة تأثير على قوة الترابط هذه حيث أن عمر الخرسانة دالة من قوة ترابط حبيبات الركام مع عجينة الأسمنت.

٤-٤-٤ الوزن النوعى للركام Specific Gravity

بصفة عامة تحتوى حبيبات الركام على فراغات ولو بسيطة جداً ولكن بعضها كثيف وغير منفذ للسوائل والماء والبعض الآخر مسامي بشكل ملحوظ وقابل لإمتصاص السوائل والماء. وبذلك يكون الحجم الفعلي لحبيبات الركام أقل من الحجم الظاهري والمحتوي على فراغات. لذلك فإنه يمكن تقسيم الوزن النوعى طبقاً لطريقة تعيينه إلى ما يلي:

❶ الوزن النوعى المطلق (Absolute Specific Gravity)

يشير الوزن النوعى المطلق إلى حجم المواد الصلدة بدون حجم الفجوات ، وعليه يمكن تعريف الوزن النوعى المطلق كنسبة وزن المواد الصلدة بالركام لحيز معين إلى وزن حجم مماثل من الماء الخالى من الغازات، عند نفس درجة الحرارة. وقد يلزم طحن الركام فى هذه الحالة طحناً جيداً ، لإزالة تأثير وجود الفجوات الدقيقة به. وعموماً لا نحتاج هذا المقياس (الوزن النوعى المطلق) فى حساب مكونات الخلطات الخرسانية .

❷ الوزن النوعى الظاهرى (Apparent Specific Gravity)

أما إذا كانت المواد الصلبة بالركام تحتوي على فجوات غير قابلة للإمتصاص ، فإنه يشار إلى الوزن النوعى بالوزن النوعى الظاهري وهو النسبة بين وزن الركام المجفف فى فرن درجة حرارته تتراوح ما بين (١٠٠ – ١١٠) درجة مئوية لمدة ٢٤ ساعة إلى وزن الماء الذي يشغل حجم مماثل لحجم المادة الصلبة بما فيها من فجوات غير قابلة للإمتصاص . وهذا هو الوزن النوعى الشائع الاستخدام واللازم لحسابات الخلطات الخرسانية عند تحديد نسب مكوناتها لحجم معين منها . وبصفة عامة يعتمد الوزن النوعى الظاهرى للركام على الوزن النوعى لمركباته وعلى حجم الفجوات به ،حيث أن الوزن النوعي الظاهري للركام الطبيعي المستخدم فى الخرسانة يتراوح ما بين ٢,٦ إلى ٢,٨. ويبين الجدول (٤–٥) قيم الوزن النوعى الظاهري لأنواع من الركام المحلي الشائع الاستخدام.

جدول (٤–٥) الوزن النوعى الظاهرى لأنواع الركام المحلي

نوع الركام	مدى تغيرات الوزن النوعى الظاهرى
رمل وزلط	٢,٥ – ٢,٧٥
حجر جيري صلد	٢,٦ – ٢,٧
جرانيت وبازلت	٢,٦ – ٢,٨
حجر رملي	٢,٤ – ٢,٧

٤-٤-٥ الكثافة الكلية (الوزن الحجمى) والفراغات بين حبيبات الركام

تعرف الكثافة الكلية (الوزن الحجمي) للركام بأنها وزن محتوى الركام الذى يشغل حجماً محدداً له بما فيه من فراغات بين حبيبات الركام، وعادة تقدر بوحدة وزن على وحدة حجم مثلا (كجم/م^3)، وليست كالوزن النوعي الذى يشار إليه بدون وحدات لأنه نسبة بين وزنين.

ويلزم تعيين الوزن الحجمى للركام للحالات الآتية:

- لتقدير كميات المواد.
- تصميم الخلطات الخرسانية وذلك فى تحويل وزن معلوم إلى حجم او بالعكس.
- حساب الفراغات البينية لحبيبات الركام.

وتعتمد قيمة الكثافة الكلية للركام على الآتي :

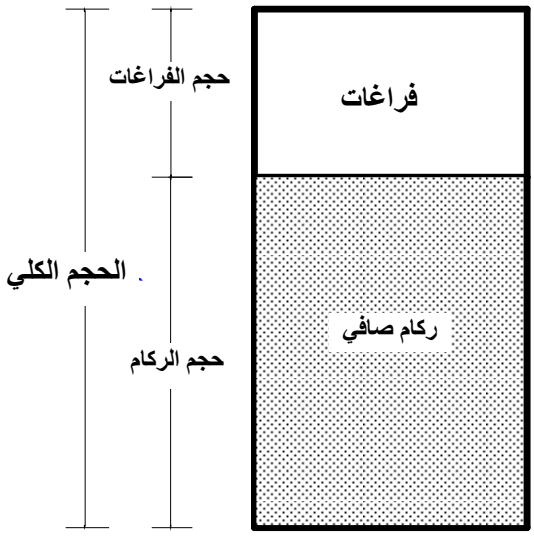
- شكل وحالة سطح حبيبات الركام (فالشكل وحالة السطح يحددان مدى التقارب بين الحبيبات عند الدمك)
- توزيع مقاسات الركام (لأن الحبيبات متساوية الحجم لها درجة دمك معينة – والمتغيرة الحجم تتداخل الحبيبات الصغيرة بين الكبيرة وتحدث الدمك)
- الدرجة التى يتم بها دمك حبيبات الركام.
- حالة الركام (سائبة أو مدموكة – جاف أو رطب أو مبتل)
- الوزن النوعي للركام.

وللمقارنة بين أنواع الركام المختلفة يتم تعيين الوزن الحجمى للركام المتدرج الجاف مع حالة الدمك الكامل. ومن هذا المنطلق يمكن الحصول على أقصى وزن حجمي بأعلى درجة دمك لركام جاف. وكنتيجة لهذه المؤثرات والاختلافات المتبانية على الوزن الحجمى للركام ، فإن قيم الوزن الحجمى تتغير فى مدى كبير ، و الجدول (٤-٦) يعطي قيم استرشادية للمدى الذى يمكن أن يتغير فيه الوزن الحجمي للركام.

وحيث أن الفراغات تعتبر مدلول عددي للمسافات أو الفجوات بين حبيبات الركام ، ويقدر محتوى الفراغات بالفرق بين الحجم الكلي لكتلة الركام والحجم الذى تشغله حبيبات الركام فقط. وقد يتم حساب محتوى الفراغات للحجم الكلي وهى القيمة الحقيقية لنسبة الفراغات بين حبيبات الركام ، وقد يتم تعيننها لحجم حبيبات الركام فقط (أى للحجم المطلق). ونكتفي هنا بتعيين نسبة الفراغات للحجم الكلي وذلك من إستنتاج مجموعة العلاقات الآتية كما هو موضح فى الشكل (٤-٥).

جدول (٤-٦) مدى القيم المتغيرة للوزن الحجمى للركام

نوع الركام	حالة الرطوبة	الوزن الحجمى للركام كجم/م^3	
		سائب	مدموك
رمل	جاف	١٤٥٠ – ١٦٠٠	١٥٣٠–١٨٥٠
	رطب	١٣٥٠–١٥٣٠	–
زلط (١٩) مم	جاف او رطب	١٤٨٠ – ١٥٧٠	١٥٩٠ – ١٧٢٠
زلط (٣٨) مم	جاف أو رطب	١٥٣٠–١٦٥٠	١٦٧٠ – ١٨٠٠
خليط رمل وزلط	جاف	–	١٧٦٠ – ٢٠٠٠
	رطب	١٦٠٠ – ١٨٥٠	–
حجر جبرى (١٩) مم	جاف أو رطب	١٣٦٠ – ١٤٦٠	١٥٣٠ – ١٦٥٠
حجر جيرى (٣٨) مم	جاف او رطب	١٤٠٠ – ١٥٤٠	١٦٠٠ – ١٧٨٠



شكل (٤-٥) تعيين محتوى الفراغات

$$\text{نسبة الفراغات للحجم الكلي} = \frac{\text{حجم الفراغات}}{\text{الحجم الكلى}}$$

ولكن الحجم الكلي للإناء = حجم الركام + حجم الفراغات

– حجـــــم الفراغات = الحجم الكلى – حجم الركام

$$\text{– نسبة الفراغات للحجم الكلى} = \frac{\text{الحجم الكلى – حجم الركام}}{\text{الحجم الكلى}}$$

$$= ١ - \frac{\text{حجم الركام}}{\text{الحجم الكلى}}$$

$$= ١ - \frac{\text{حجم الركام}}{\text{الحجم الكلى}} \quad \frac{\text{وزن الركام}}{\text{وزن الركام}}$$

$$= ١ - \frac{\text{وزن الركام / الحجم الكلى}}{\text{وزن الركام / حجم الركام}}$$

$$= ١ - \frac{\text{الوزن الحجمى للركام}}{\text{الوزن النوعى للركام}}$$

$$= \frac{\text{الوزن النوعى – الوزن الحجمى}}{\text{الوزن النوعى}}$$

إذن: النسبة المئوية للفراغات $= \frac{\text{الوزن النوعى – الوزن الحجمى}}{\text{الوزن النوعى}} \times ١٠٠$

٤-٤-٦ محتوى الرطوبة فى الركام

ذكر مسبقاً عند شرح المسامية والامتصاص للركام ، الحالات المختلفة للركام بالنسبة لدرجة الرطوبة كما هو موضح بالشكل (٤-٤) وتلك الحالات هي:

- **جاف بالفرن** : وهى الحالة التى يتخلص الركام فيها من الرطوبة الداخلية بالفراغات الخارجية علىالسطح ، وذلك بالتسخين فى الفرن عند ١٠٠-١١٠ درجة مئوية.
- **جاف بالهواء** : وهى الحالة التى بها بعض من الرطوبة الداخلية ولكن تتلخص الحبيبات من الرطوبة السطحية بجفاف الهواء.
- **مشبع بالماء والسطح جاف**: وهى الحالة تكون بها الحبيبات مشبعة داخليا تمام بالماء ولكن لا يوجد أى ماء حر او رطوبة على سطح الحبيبات.
- **رطب أو مبتل**: وهى الحالة التى تكون بها الحبيبات الداخلية مشبعة وممتلئة بالماء مع تواجد ماء حر ورطوبة على سطح الحبيبات.

وللرطوبة تأثير فعال على الخلطات الخرسانية لأن الركام إذا كان جافاً وغير مشبع بالماء فإن الركام الجاف يتشبع من ماء الخلط المضاف والذى يؤثر على محتواه مما يكون له التأثير الضار على إتمام عمليات الإماهة للأسمنت وبالتالي على خواص الخرسانة فى حالتيها الطازجة والمتصلدة. كما أنه إذا كان الركام فى حالته الرطبة تماماً ، فإن الماء الحر حول حبيبات الركام يشارك مع ماء الخلط وبذلك يزداد محتوي الماء فى الخلطة الخرسانية مما يغير من خواص الخرسانة المصممة. وعليه يجب أن تكون الحالة المثلى للركام عند تصميم الخلطات الخرسانية والتى لا يوجد لها أى تأثير سلبي على خواص الخرسانة فى حالتيها الطازجة والمتصلدة هى حالة الركام عندما يكون مشبعاً بالماء وسطحه جاف.

ومن مصادر تواجد الرطوبة بشكل مباشر على الركام هو ماء الأمطار ، وهى الحالة التى يجمع الركام المعرض إلى الأمطار كميات كبيرة من الرطوبة على سطحه ، والتى تحتفظ بها حبيبات الركام لمدة طويلة إلا لبعض الأجزاء من الركام على سطح كومات الركام. وهنا يتشبع الركام داخليا ويبقى جزء من الماء حراً على سطح الركام والذى يلزم أخذه فى الاعتبار عند حساب مكونات الخلطة الخرسانية. وحيث أن محتوى الرطوبة فى الركام يتغير بين الأجزاء المتجاورة للكومات، فإنه يلزم ضرورة ضبط نسب الخلط باستمرار. لأنه يحدث تغير فى محتوى الرطوبة من أسفل الكومات الرطبة إلى أعلى حتى السطح الخارجى للكومات، لذلك يجب تخزين الركام على طبقات أفقية بسمك قليل بغرض تجففها بسرعة قبل الاستخدام، مع الأخذ فى الاعتبار عدم استخدام الجزء السفلى من الكومات حتى ارتفاع ٣٠سم من أسفل حتى يتم التأكد من جفافها، وذلك بغرض خفض تغيرات الرطوبة فى الركام إلى الحد الأدنى. وعموما يحتفظ الركام الكبير بكميات أقل كثيراً من الماء والرطوبة عن الركام الصغير.

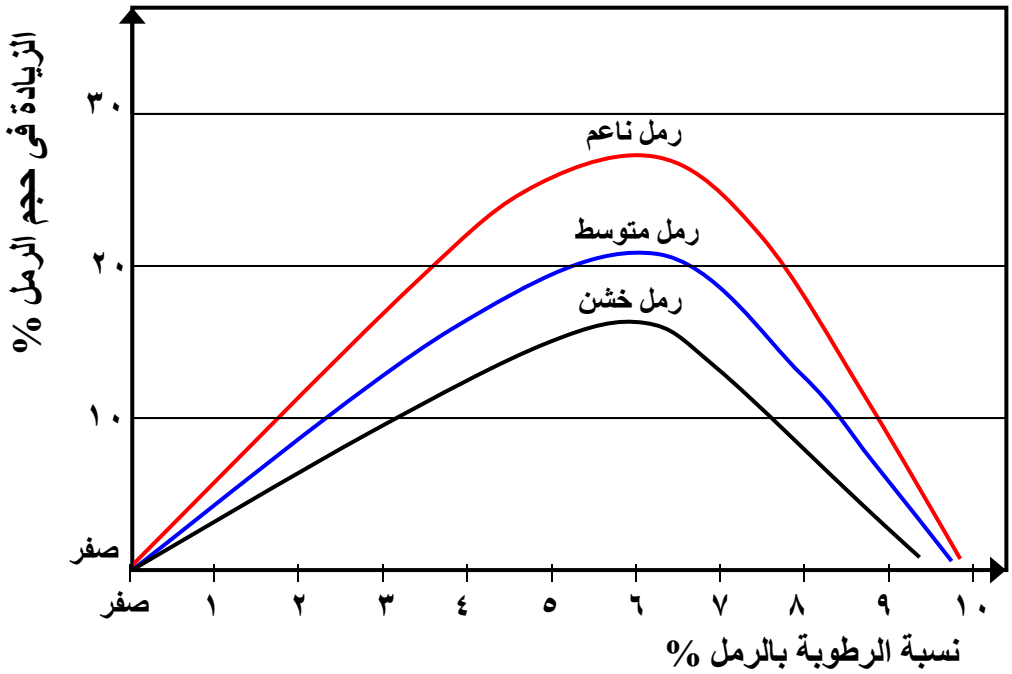
٤-٤-٧ الزيادة الحجمية للركام الناعم

نتيجة لتواجد الرطوبة فى الركام فإنه يلزم ضبط مكونات الخلطة الخرسانية، وعليه يتم خفض كمية الماء فى الخليط بمقدار وزن الماء الحر فى الركام وبالتالي يتم زيادة محتوى الركام بنفس المقدار. أما الركام الناعم متمثلا فى الرمل فله ظاهرة طبيعية وهى زيادة حجمه عند إضافة الماء إليه أو كونه رطباً فى الأصل وذلك ينتج من تكون غشاء من الماء على سطحه رافعاً حبيبات الرمل بعيدا عن بعضها البعض نتيجة لتأثير ظاهرة الشد السطحي. والزيادة الحجمية للرمل تؤثر على نسب مكونات الخلطة الخرسانية بالحجم ، لأنه ينتج من الزيادة الحجمية للرمل إنقاص لأوزان الرمل الحقيقي التى تشغل حيزاً ثابتا فى صندوق المعايرة. وهنا يصبح الخليط ناقصاً فى محتوى الرمل المطلوب والذي يسبب تأثيراً ضاراً على الخرسانة المنتجة من انفصال حبيبي أى يحدث بها تعشيش ومسام داخلية وكذلك تتغير نسب الخلط لمكونات المواد المطلوبة فى الخلطة الخرسانية.

و الزيادة الحجمية للرمل تتأثر بالعوامل الآتية:

- **النسب المئوية للرطوبة الموجودة فى الرمل.**
- **درجة نعومة الرمل.**

ويوضح الشكل (٤-٦) أن الزيادة الحجمية تحدث بمقدار يتراوح ما بين ٢٠% إلى ٣٠% عندما تزداد درجة الرطوبة ما بين ٥% إلى ٨% أما إذا أُضيف الماء بأكثر من ذلك ، فإن الغشاء الرطب يندمج مع الركام، ويتحرك الماء إلى الفراغات بين الحبيبات، وبالتالي ينخفض الحجم الكلى للرمل، حتى الوصول إلى التشبع الكامل للرمل وهنا يصبح حجم الرمل المشبع كاملاً مساوياً لحجم الرمل الجاف عندما تستخدم نفس طريقة قياس الحجم. ويظهر أيضا فى الشكل السابق أنه كلما زادت نعومة الرمل زادت الزيادة الحجمية للرمل. إلا أن الرمل الناعم لا يصلح لإنتاج خرسانة جيدة. أما عند وجود الماء الحر بسطح الركام الكبير (الزلط مثلاً) فلا تظهر به إلا زيادة حجمية صغيرة نسبياً بالمقارنة بالزيادة الحجمية بالرمل، ولذلك لأن غشاء الماء المتكون على حبيبات الركام الكبير رقيقاً بالنسبة للغشاء المتكون على حبيبات الرمل.



شكل (٤-٦) الزيادة الظاهرية (الوهمية) فى حجم الرمل.

٤-٤-٨ التدرج الحبيبى للركام

التدرج الحبيبي للركام هو تقسيم عينة الركام إلى أجزاء ، كل جزء يحتوي على مجموعة الحبيبات التى لها نفس المقاس والمحصورة بين حدود معينة ، وهذه الحدود هى فتحات المناخل القياسية. ويكون ذلك بهز الركام فى مجموعة من المناخل القياسية والمرتبة حسب مقاس فتحتها وموضوعة فوق بعضها بحيث يكون أكبرها مقاساً من أعلى وأصغرها مقاساً من أسفل ثم وزن المحجوز على كل منخل، ثم يتم حساب النسبة المئوية للركام المار من كل منخل. ثم توقع العلاقة بين مقاس فتحة المناخل المستخدمة والنسبة المئوية للمار منه بيانياً ، ليعبر هذا البياني عن مدى التدرج الحبيبي للركام. والغرض الأساسى من معرفة التدرج الحبيبي للركام هو الحصول على تدرج مناسب لركام خليط من الركام الصغير والركام الكبير لاستخدامه فى إنتاج الخرسانة بالخواص المطلوبة فى حالتيها الطازجة والمتصلدة. حيث أن الركام المتدرج قد يساهم فى تحقيق خرسانة ذات كثافة عالية وفى نفس الوقت على درجة عالية من التشغيل مع استعمال أقل كمية من الأسمنت.

❶ التحليل بالمناخل Sieve Analysis

وعموما تستخدم المناخل القياسية ذات الفتحات المربعة وهيكلها المعدنى فى عملية الفصل فى المقاسات للركام حيث يوضح جدول (٤-٧) المناخل القياسية المصرية والبريطانية والأمريكية ومن هذه المناخل مجموعة المناخل المستخدمة لركام الخرسانة، والتى عموماً تحتوى على مجموعة من المناخل مقاس فتحة كل منها الخالصة نصف مقاس فتحة المنخل الذى يليه فىالمقاس. ويمكن تقسم مناخل اختبار ركام الخرسانة إلى ثلاث مجموعات:

مناخل ذات فتحات واسعة : وتشمل المناخل (٣٨,١ - ٣١,٥ - ٢٦,٥ - ٢٢,٤ مم)
مناخل ذات فتحات متوسطة : وتشمل المناخل (١٩ - ١٦ - ٩,٥ - ٤,٧٥ مم)
مناخل ذات فتحات ضيقة:وتشمل المناخل(٢,٨ - ١,٤ -٠,٧١ -٠,٣٥٥ -٠,١٨ -٠,٠٩ مم)

وعموما قبل إجراء اختبار التحليل بالمناخل القياسية للركام، فإنه يلزم تجفيف العينة المختبرة من الركام فى الهواء لضمان عدم وجود تجمعات من الركام الصغير موجودة فىالركام الكبير ، وكذلك بضمان عدم غلق فتحات المناخل المستخدمة. ويمكن إجراء اختبار التحليل بالمناخل يدوياً ، وذلك بهز كل منخل على حده حتى ينعدم مرور الركام من فتحاته أو يتم النخل لحبيبات الركام بواسطة هزاز المناخل. وبعدها يتم تسجيل نتائج اختبار التحليل بالمناخل إذا كان النخل يدوى أو ميكانيكى وذلك بتسجيل قيم الوزن المتبقى على كل منخل، ثم يتم حساب النسبة المئوية المتراكمة للمتبقى وكذلك النسبة المئوية المتراكمة للمارة من كل منخل وذلك بجدولتها كما هو موضح بجدول (٤-٨) لمثال على تحليل المناخل للركام . وتلك القيم للنسب المئوية المارة وفتحات المناخل يتم توقيعها بيانيا فى منحنيات التدرج.

جدول (٤-٧) المقاسات القياسية لمناخل تبعاً للمواصفات المصرية والأمريكية والبريطانية

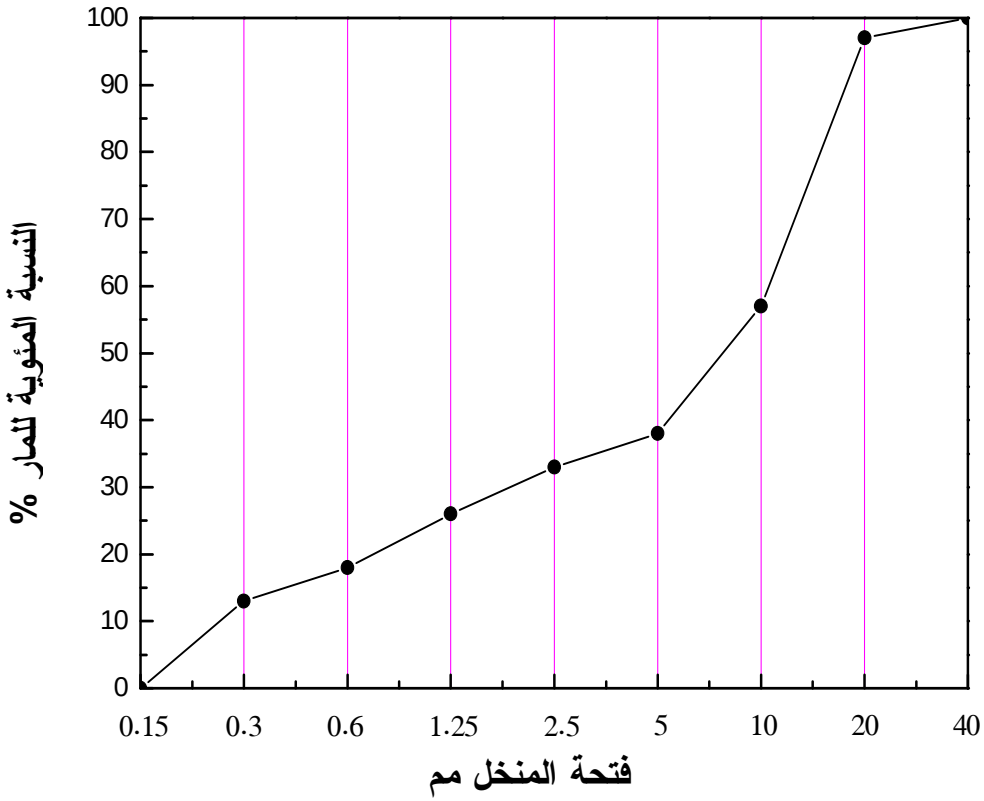
الفتحة بالمم أو بالميكرون	المواصفات المصرية	المواصفات البريطانية	المواصفات الأمريكية
١٢٥مم	-		٥,٠ بوصة
١٠٦مم	-	٤ بوصة	٤,٢٤ بوصة
٩٠ مم	-	٣,٥ بوصة	٣,٥ بوصة
٧٥ مم	-	٣ بوصة	٣ بوصة
٦٣مم	-	٢,٥بوصة	٢,٥ بوصة
٥٣مم	-	٢ بوصة	٢,١٢ ـ ٢ بوصة
٤٥مم	-	١,٧٥ بوصة	١,٧٥ بوصة
٣٨,١مم ٣٧,٥مم	رقم ٧	١,٥بوصة	١,٥ بوصة
٣١,٥مم	رقم ٨	١,٢٥بوصة	١,٢٥ بوصة
٢٦,٥مم	-	١ بوصة	١,٠٦ ـ ١ بوصة
٢٢,٤مم	رقم ١٠	٨/٧ بوصة	٨/٧ بوصة
١٩,٠مم	رقم ١١	٠,٧٥بوصة	٤/٣ بوصة
١٦,٠مم	رقم ١٢	٨/٥ بوصة	٨/٥ بوصة
١٣,٢مم	-	-	٠,٥٣بوصة
١١,٢مم	-	٠,٥ بوصة	١٦/٧ بوصة
٩,٥مم	رقم ١٥	٨/٣ بوصة	٨/٣ بوصة
٨,٠٠مم	-	١٦/٥ بوصة	١٦/٥ بوصة
٦,٧مم	-	٠,٢٥ بوصة	٤/١ بوصة
٥,٦مم	-	-	رقم ٣,٥
٤,٧٦مم	رقم ١٩	١٦/٣ بوصة	رقم ٤
٤,٠٠مم	-	-	رقم ٥
٣,٣٥مم	-	رقم ٥	رقم ٦
٢,٨٠مم	رقم ٢٢	رقم ٦	رقم ٧
٢,٣٨مم		رقم ٧	رقم ٨
٢,٠٠مم		رقم ٨	رقم ١٠
١,٧٠ مم	-	رقم ١٠	رقم ١٢
١,٤٠ مم	٢٦ رقم	رقم ١٢	رقم ١٤
١,١٨ مم	-	رقم ١٤	رقم ١٦
١,٠٠ مم	-	رقم ١٦	رقم ١٨
٨٥٠ ميكرون	-	رقم ١٨	رقم ٢٠
٧١٠ ميكرون	رقم ٣٠	رقم ٢٢	رقم ٢٥
٦٠٠ ميكرون	-	رقم ٢٥	رقم ٣٠
٥٠٠ ميكرون	-	رقم ٣٠	رقم ٣٥
٤٢٥ ميكرون	-	رقم ٣٦	رقم ٤٠
٣٥٥ ميكرون	رقم ٣٤	رقم ٤٤	رقم ٤٥
٣٠٠ ميكرون	-	رقم ٥٢	رقم ٥٠
٢٥٠ ميكرون	-	رقم ٦٠	رقم ٦٠
٢١٢ ميكرون	-	رقم ٧٢	رقم ٧٠
١٨٠ميكرون	رقم ٣٨	رقم ٨٥	رقم ٨٠
١٥٠ميكرون	-	رقم ١٠٠	رقم ١٠٠
١٢٥ ميكرون	-	رقم ١٢٠	رقم ١٢٠
١٠٦ ميكرون	-	رقم ١٥٠	رقم ١٤٠
٩٠ ميكرون	-	رقم ١٧٠	رقم ١٧٠
٧٥ ميكرون	-	رقم ٢٠٠	رقم ٢٠٠
٦٣ ميكرون	-	رقم ٢٤٠	رقم ٢٣٠
٥٣ ميكرون	-	رقم ٣٠٠	رقم ٢٧٠
٤٥ ميكرون	-	رقم ٣٥٠	رقم ٣٢٥
٣٨ ميكرون	-		رقم ٤٠٠

❷منحنيات التدرج Grading Curves

منحنيات التدرج هى المنحنيات البيانية التى تبين بسهولة ويسر نتائج التحليل بالمناخل، وذلك بتوقيع النتائج فى هذا الشكل البيانى بتوقيع النسب المئوية المتراكمة المارة على الإحداثيات الرأسية، وفتحات المناخل موقعة توقيعا لوغارتيمى على الإحداثيات الأفقية. وحيث أن مقاسات المناخل القياسية تكون على نسب ثابتة قدرها نصف، فإن التوقيع اللوغارتيمى لفتحات المناخل يكون على مسافات متساوية على المحور الأفقى كما هو موضح فى شكل (٤-٧). ويمكن أيضا من توقيع نتائج التحليل بالمناخل بيانياُ معرفة مدى تطابق تدرج العينة المختبرة مع حدود المواصفات.

جدول (٤-٨) مثال على تحليل المناخل

مقاس المنخل	الوزن المتبقى بالجرام على كل منخل	النسبة المئوية المتبقية على كل منخل	النسبة لمئوية المتراكمة المتبقية	النسبة المئوية المتراكمة المارة
٣٨ مم	صفر	صفر	صفر	١٠٠
١٩ مم	٦	٢	٢	٩٨
٩,٥ مم	٣١	١٠	١٢	٨٨
٤,٧٦ مم	٣٠	٩,٨	٢١,٨	٧٨
٢,٣٨ مم	٥٩	١٩,٢	٤١	٥٩
١,١٨ مم	١٠٧	٣٤,٩	٧٥,٩	٢٤
٦٠٠ ميكرون	٥٣	١٧,٣	٩٣,٢	٧
٣٠٠ ميكرون	٢١	٦,٨	١٠٠	صفر
الوعاء	–	–	١٠٠	صفر
المجموع	٣٠٧	%١٠٠	--	--



شكل (٤-٧) مثال لمنحنى التدرج الحبيبي للركام

❸ معايير النعومة Fineness Modulus

يعرف معايير النعومة بأنه العامل الذى يصف المقاس المتوسط للركام ويستنتج من جداول التحليل بالمناخل لركام الخرسانة ، ومعايير النعومة يساوى مجموع النسبة المئوية المتراكمة المحجوزة على المناخل القياسية التسعة مقسوما على ١٠٠ وهى (٣٨,١- ١٩-٩,٥-٤,٧٥-٢,٨-١,٤-٠,٧١-٠,٣٥٥-٠,١٨مم). أو تكون عدد من المناخل بشرط أن تكون ترتيب المناخل من أسفل (٠,١٨ - ٠,٣٥٥ -٠,٧١- ١,٤-٢,٨ - ٤,٧٥) وحتى مقاس أكبر منخل متواجد فى جداول التحليل بالمناخل للركام. ويجب معرفة أنه إذا كانت للنسبة المئوية للمحجوز على منخل ما ١٠٠% فإن النسبة المئوية للمحجوز على المناخل التى تليه والأقل منه مقاساً تكون أيضا ١٠٠%. وقد يتراوح معاير النعومة للرمل كركام ناعم ما بين (٢,٠ - ٣,٧٥) وللزلط كركام خشن ما بين (٥ - ٨). ويستخدم معاير النعومة فى الآتى:

- تحديد نسب مكونات الخلطات الخرسانية فى بعض طرق تصميم الخلطات الخرسانية.
- قياس التغيرات التي تحدث فى نوعية الركام المورد من نفس المصدر.

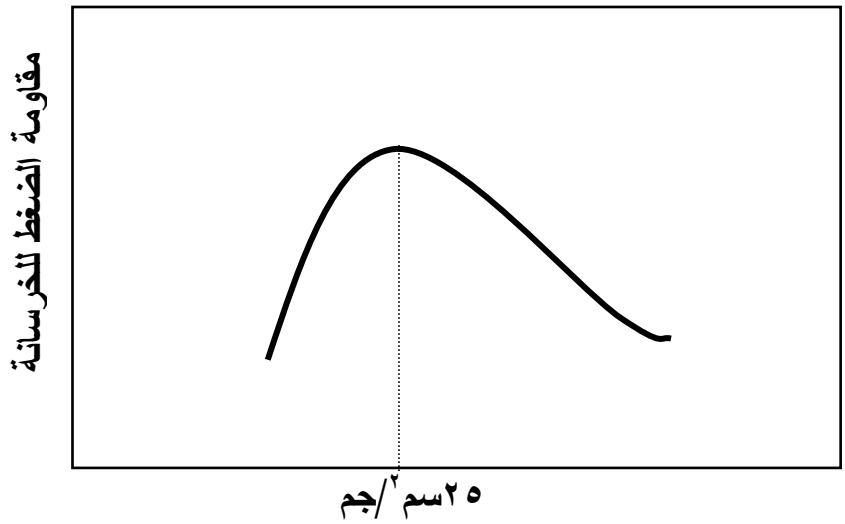
❹ المساحة السطحية للركام Surface Area of Aggregate

حيث أن المساحة السطحية للركام هى العامل الأساسي الذى يتحكم فى التدرج الحبيبي المرغوب فيه والذى بدوره له تأثير فعال أو أساسي على خواص الخرسانة لذلك يجب دراسة بعض التأثيرات والعوامل المهمة والمؤثرة على جودة الخرسانة وهى:

- تأثير المساحة السطحية للركام على خواص الخرسانة.
- تعيين المساحة النوعية السطحية للركام.
- تعيين نسبة الركام الصغير إلى الركام الكبير للحصول على ركام خليط معلوم المساحة السطحية.

١- تأثير المساحة السطحية للركام على خواص الخرسانة

نظراً لأن مقاومة الخرسانة تتوقف على مقاومة الترابط بين حبيبات الركام وعجينة الأسمنت حيث أن مقاومة التماسك تعتمد على المساحة السطحية للركام والعجينة الأسمنتية المحيطة بها، فمثلاً إذا استخدم ركام كبير فقط مع عجينة الأسمنت فتنتج خرسانة ضعيفة المقاومة لصغر المساحة السطحية للركام الكبير (تتراوح من ٢ – ٥ سم^{٢}/جم) المستخدم وترابطها الضعيف مع عجينة الأسمنت وكذلك لوجود فراغات كثيرة لعدم وجود حبيبات صغيرة. وأيضاً عندما نستخدم ركام صغيرفقط مع عجينة الأسمنت فينتج خرسانة ضعيفة المقاومة لكبر المساحة السطحية للركام الصغير(تتراوح ما بين ٦٠- ١٠٠ سم^{٢}/جم) وترابطها الضعيف مع عجينة الأسمنت لأن تلك العجينة لا تكفى لتغليف هذه المساحة السطحية الكبيرة للركام الصغير وأيضا لزيادة ماء الخلط لكى يحقق تشغيلية مناسبة للخرسانة. والذي يسبب زيادة الماء الحر والذى يتبخر مسببا فراغات داخلية وبالتالى تضعف مقاومة التماسك ومقاومة الخرسانة. وعلى ذلك فإنه يتم استخدام ركام خليط فى إنتاج الخرسانة جيدة المواصفات وذلك بجعل المساحة السطحية للركام الخليط مناسبة مع عجينة الأسمنت لإحداث مقاومة تماسك تحقق المقاومة المطلوبة للخرسانة مع الوضع فى الاعتبار الدمك الكافي لتقليل الفراغات الداخلية ووضع محتوى الماء المناسب لذلك. وقد أثبتت الدراسات أن مقاومة الخرسانة للضغط تتأثر بالمساحة النوعية السطحية للركام كما هو موضح بالشكل (٤-٨) حيث أنه عندما تكون المساحة النوعية السطحية للركام الخليط تعادل ٢٥ سم^{٢}/جم تعطى أكبر مقاومة للضغط.



شكل (٤-٨) تأثير المساحة السطحية النوعية للركام على مقاومة الضغط

٢- تعيين المساحة النوعية السطحية لركام:

ولأهمية تأثير المساحة السطحية للركام على خواص الخرسانة فى حالتيها الطازجة والمتصلدة فإنه يلـــزم تعيينها ، وهناك طرق عديدة لذلك ولكن هناك طرق نظرية تقريبية يتم تعيين المساحة النوعية السطحية للركام بها ببساطة وذلك على أساس أن:

- حبيبات الركام عبارة عن كرات.
- حبيبات الركام عبارة عن أشكال مختلفة.

أ- المساحة النوعية السطحية لحبيبات الركام الكروية الشكل

- المساحة السطحية لجميع حبيبات الركام = المساحة السطحية لحبة واحدة × عدد حبيبات الركام

$$= 4\pi \text{ نق}^2 \cdot \text{ن}$$

ولكن وزن الركام = حجم جميع حبيبات الركام × الوزن النوعى للركام

$$\text{ز} = (3/4)\pi \text{ نق}^3 \cdot \text{ن} \cdot \text{و}$$

$$\text{ن} = \frac{3\text{ ز}}{4\pi \text{ نق}^3 \cdot \text{و}}$$

- المساحة السطحية الكلية للركام = $٤\ \pi\ نق^{٢} \times \frac{٣\ ز}{٤\ \pi\ نق^{٣} . و}$

- المساحة السطحية الكلية للركام = $\frac{٣\ ز}{نق . و}$

المساحة السطحية الكلية للركام = $\frac{٦\ ز}{ق . و}$

حيث:

ز : هو وزن حبيبات الركام

ن : هو عدد حبيبات الركام

و : هو الوزن النوعى للركام

نق : نصف القطر المتوسط لحبيبات الركام

ق : القطر المتوسط لحبيبات الركام

فإذا كانت مجموعة الركام ذات الوزن (ز) هى المارة من المنخل الذى فتحته (ق١) والمحجوزة على منخل فتحته (ق٢) فتكون قيمته (ق) وهى عبارة عن القيمة المتوسطة بين ق١ ، ق٢ .

ام أنه إذ كانت الأوزان المحجوزة على المناخل هى ز١ ، ز٢ ، ز٣ ... الخ لعينة من الركام عند اختبارها بالتحليل بالمناخل.

- المساحة السطحية = $\frac{٦\ ز١}{ق١ . و} + \frac{٦\ ز٢}{ق٢ . و} + ... + \frac{٦\ زن}{قن . و}$

حيث ق١ = ٠,٥ مجموع مقاس المنخلين الأولين المتتاليين (مجموع المنخلين الأول والثاني)

ق٢ = ٠,٥ مجموع مقاس المنخلين الثانى والثالث ..... الخ

- المساحة النوعية السطحية (المساحة السطحية لوحدة الوزن) =

$$(\frac{٦\ ز١}{ق١ . و} + \frac{٦\ ز٢}{ق٢ . و} + ... + \frac{٦\ زن}{قن . و}) / ز$$

كما أنه يمكن التعبير عن المساحة النوعية السطحية للركام بمعلومية النسب المئوية للمار من المناخل القياسية كما يلي:

المساحة النوعية السطحية =$(\frac{٦(م١-م٢)}{ق١ . و} + \frac{٦\ (م٢-م٣)}{ق٢ . و} + ... + \frac{٦\ (من-١-من)}{قن . و}) / ١٠٠$

(ب) المساحة النوعية السطحية لحبيبات الركام المختلفة الشكل

وإذا افترضنا أن حبيبات الركام عبارة عن أشكال مختلفة وهذا هو الأعم لأنه نادراً ما تكون حبيبات الركام كروية تماما كما هى فى الحالة السابقة فيمكن حساب المساحة النوعية السطحية لحبيبات الركام المختلفة الشكل كما يلي :

$$\text{المساحة النوعية السطحية الحقيقة} = \left(ع_{1}\frac{٦\ ز_{1}}{ق_{1}\ .\ و} + ع_{2}\frac{٦\ ز_{2}}{ق_{2}\ .\ و} + \ldots + ع_{ن}\frac{٦\ ز_{ن}}{ق_{ن}\ .\ و}\right) / ز$$

$$\text{أو المساحة النوعية السطحية الحقيقة} = \left(ع_{1}.\frac{٦(م_{1}-م_{2})}{ق_{1}\ .\ و} + ع_{2}.\frac{٦\ (م_{2}-م_{3})}{ق_{2}\ .\ و} + \ldots + ع_{ن}.\frac{٦\ (م_{ن-1}-م_{ن})}{ق_{ن}\ .\ و}\right)/١٠٠$$

حيث أن : $ع_{1}$ ، $ع_{2}$ ،....، $ع_{ن}$: تمثل عامل الشكل أو عامل الزاوية للركام .

ونتيجة لبعض من الأبحاث والدراسات أثبتت أن :

$$\text{عامل الشكل} = \frac{\text{نسبة الفراغات بالركام السائب}}{\text{نسبة الفراغات بالركام المدموك}} = \frac{\text{النسب القصوى للفراغات بالركام}}{\text{النسبة الصغرى للفراغات بالركام}}$$

ويلاحظ أن عامل الشكل يساوي الوحدة إذا كانت حبيبات الركام كلها كروية ويكون أكبر من الواحد الصحيح للركام العادي.

٣-تعيين نسبة الركام الصغير إلى الركام الكبير

للحصول على ركام خليط معلوم المساحة السطحية:

عند الإحتياج لتحديد نسب مكونات المواد من تصميم الخلطات الخرسانية بطريقة المساحة السطحية يحتاج الأمر إلى تعيين النسبة بين الركام الصغير والركام الكبير ليكوّن خليطاً يحقق مساحة سطحية معلومة وفيما يلي طريقةحساب المساحة النوعية السطحية للركام الخليط.

المساحة النوعية السطحية للركام الخليط = المساحة النوعية للركام الصغير × نسبته + المساحة النوعية للركام الكبير × نسبته

$$\textbf{Then:} \qquad A_m = A_S \frac{S}{S+L} + A_L \cdot \frac{L}{S+L}$$

وبإعادة ترتيب المعادلة تصبح:

$$\frac{S}{L} = \frac{A_m - A_L}{A_S - A_m}$$

حيث:

A_m : هو المساحة النوعية السطحية للركام الخليط.

As : هو المساحة النوعية السطحية للركام الصغير.

A_L : هو المساحة النوعية السطحية للركام الكبير.

L : هو نسبة الركام الكبير فى الخلطة.

S : هو نسبة الركام الصغير فى الخلطة.

وعليه فإنه يمكن استخدام المعادلة السابقة فى حساب نسبة خلط الركام الصغير إلى لركام الكبير إذا علمت المساحة السطحية لكل منهما لتعطي ركام خليط له مساحة سطحية معلومة.

❺ المقاس الاعتبارى الأكبر للركام Maximum Nominal Aggregate Size

يعرف المقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير بأنه مقاس أصغر فتحة منخل يسمح بمرور ٩٥% على الأقل ، ويجب أن يكون المقاس الاعتبارى الأكبر للركام الكبير فى الحدود المسموح بها فى المواصفات القياسية المصرية على ألا يتعدى ذلك المقاس القيم الآتية:

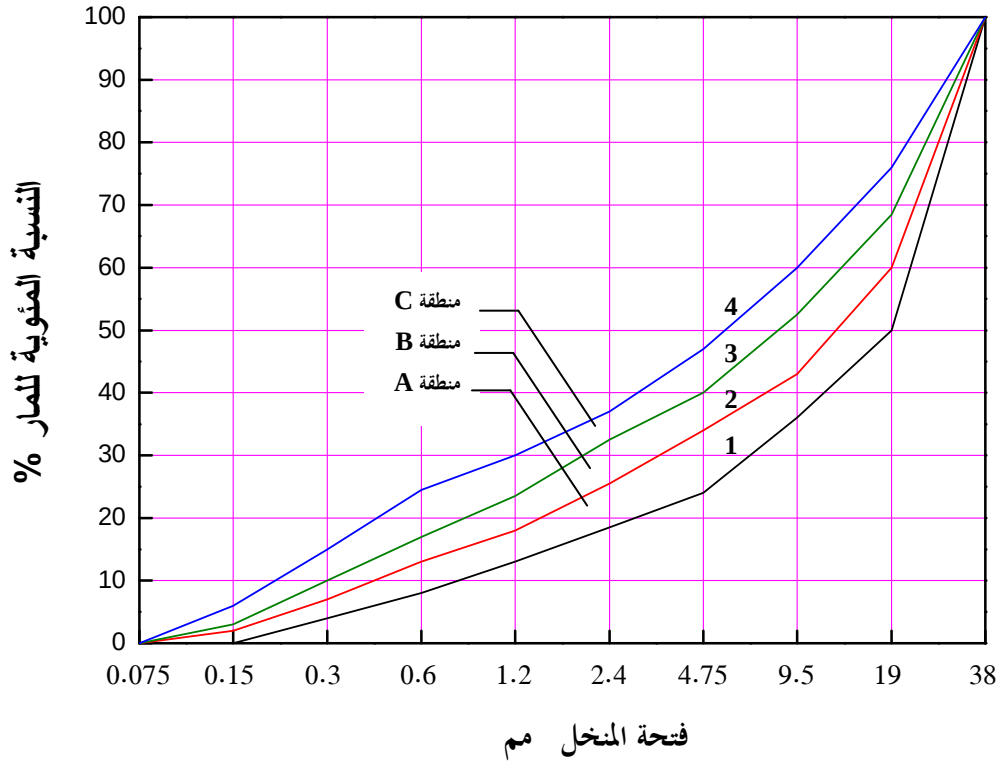
١- خمس البعد الأصغر بين جانبى شدة القطاع الخرسانى.
٢- ثلث سمك البلاطة الخرسانية.
٣- ثلاثة أرباع المسافة الخالصة بين أسياخ التسليح.
٤- سمك الغطاء الخرساني للعناصر الإنشائية المختلفة.

ونجد أنه كلما كبر المقاس الاعتبارى الأكبر للركام كلما زاد الوزن وتحسنت نسبياً مقاومة الخرسانة مع وفر فى الأسمنت المستخدم لقلة المساحة السطحية إلا أنه لا يفضل إستخدام ركام يزيد مقاسه الاعتبارى الأكبر على ٤٠ مم فى أعمال الخرسانة المسلحة ، كما لا يزيد على ٢٥ مم فى الخرسانة سابقة الجهاد ، وقد يصل إلى حوالى ١٥٠ مم فى أعمال الخرسانة الكتلية ولكن لا يزيد عن هذا المقاس لصعوبة مناولته ودمكه.

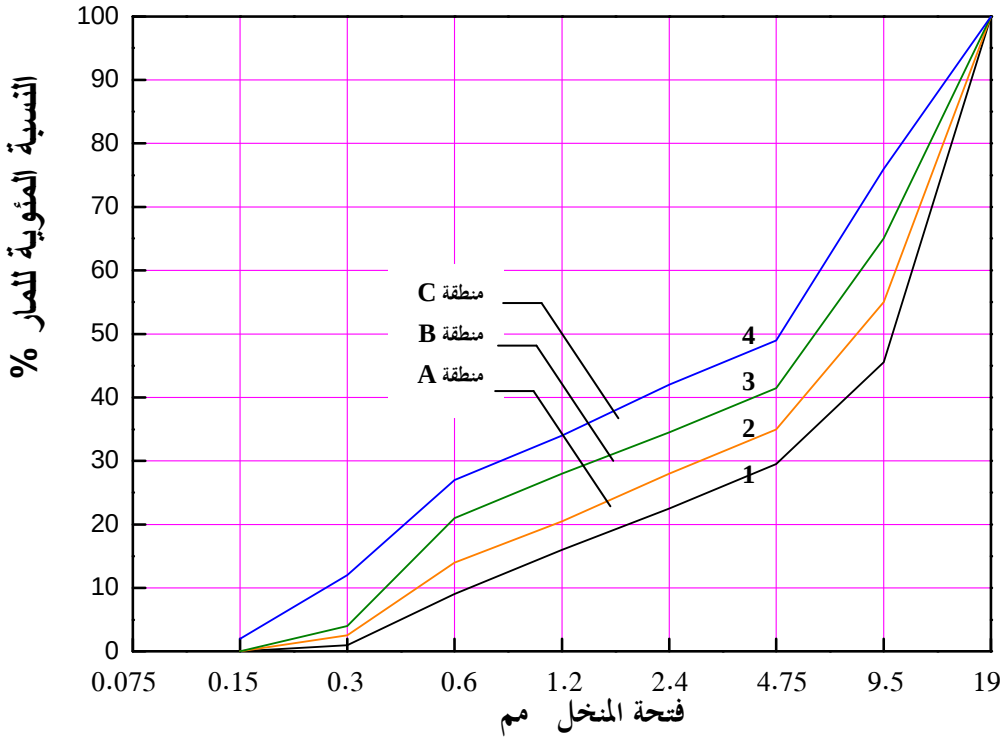
❻ حدود متطلبات التدرج الحبيبى:

تم سابقاً معرفة كيفية عمل جدولة ومنحنيات للتدرج الحبيبى للركام ، إلا أنه لم يظهر بعد بوضوح كيفية استخدام هذا التدرج البيانى لغرض ما معين. ولم يتضح أيضا كيفية دمج تدرج ركام كبير وتدرج ركام صغير للحصول على تدرج ركام شامل ليعطي تدرج معروف ومحدد طبقا لمواصفات عملية، وهنا نسأل ما هى النسبة الجيدة للركام الصغير إلى الركام الكبير؟.
يلزم الحصول على خليط من تدرج حبيبي شامل يسهل دمكه للوصول إلى الكثافة القصوى بأقل مجهود. ويدخل فى تحديد هذا التدرج الظروف الإقتصادية ، حيث أنه يلزم صناعة الخرسانة بمواد رخيصة التكاليف ومنها إختيار الركام المناسب إقتصاديا. كما أنه من المهم إستخدام ركام متدرج فى الخلطة الخرسانية لضمان إعطائها التشغيلية المناسبة مع عدم حدوث انفصال حبيبي. كما أنه يلزم إستخدام الركام القريب من الموقع والمتواجد محلياً والذي ينتج خرسانة مقبولة. وتحدد المواصفات القياسية البريطانية تدرجين للركام الكبير، الذى مقاسه الإعتبارى الأكبر (٣٨,١) و (١٩,٠٥) مم والممثلة فى شكلى (٤-٩) ، (٤-١٠) على التوالي. كما يوضح شكل (٤-١١) التدرج المطلوب لركام مقاسه

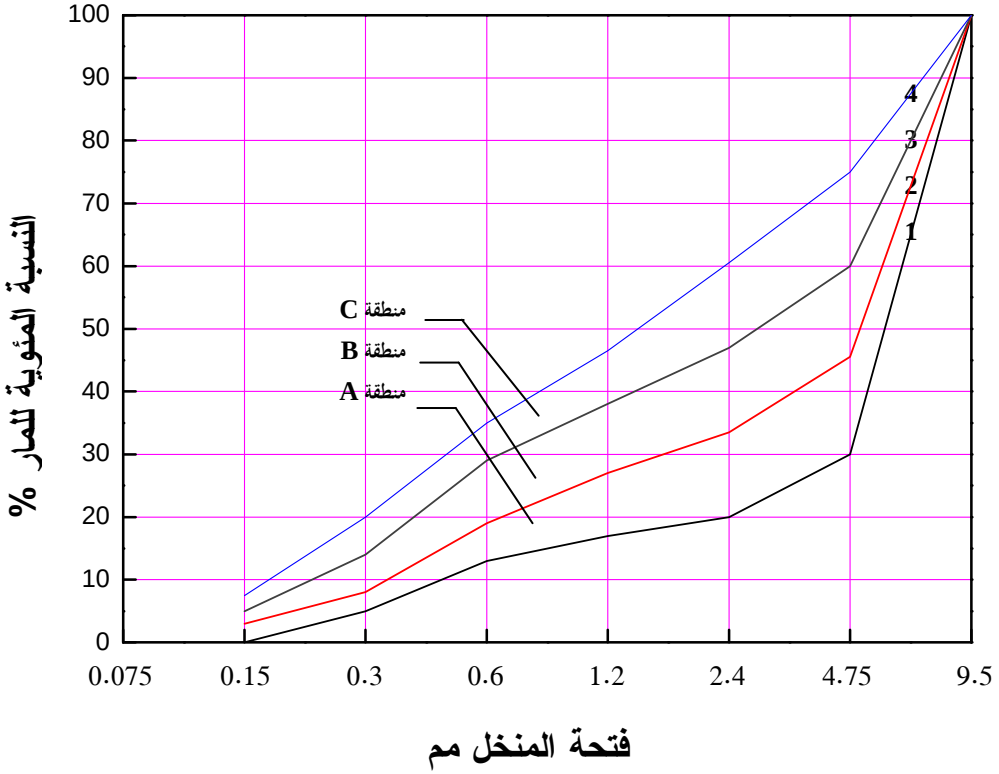
الإعتبارى الاكبر (٩,٥٢)مم. وقد حدد فى كل شكل أربعة من المنحنيات، إلا أنه لا يمكن أن يقع التدرج الحبيبي الفعلي تماماً على أى منهما، نتيجة إحتمالات التغير فى حدود أجزاء المقاسات ووجود ركام يزيد أو يقل عن مقاسات الركام. وعليه فمن المفضل تحديد **مناطق** تدرج وليس منحنيات تدرج كما هو موضح فى المنحنيات الثلاث السابقة. والذى يمثل منحنى رقم (١) أكبرها تدرجاً وهذا المنحنى ذى تشغيلية جيدة ويستخدم للخلطات ذات نسبة الماء/الأسمنت المنخفضة وللخلطات الغنية، إلا أنه يلزم التأكد من عدم حدوث إنفصال لمكوناته. وتحدد الأشكال الثلاث السابقة فى الحد الأصغر منها منحنى رقم (٤) والذى يمثل أصغرها تدرجاً، وسوف يكون خليطه متماسكاً ولكن ليس على درجة كافيه من التشغيلية. وكقاعدة عامة تسبب المحتويات بين المناخل (٤,٧٦) و (١,٢) مم خرسانة خشنة، وبالرغم من إمكانية دمكها بالهز المناسب ، إلا أنه يصعب تنفيذها يدوياً. وإن تطلب الأمر الحصول على تشغيليه مقبولة باستخدام المنحنيات رقم (٤)، فإنه يلزم إستخدام محتوى ماء خلط عالي جداً، وهذا يعني مقاومة منخفضة . فإن كان من المطلوب الحصول على مقاومة عالية منه فيتحتم استخدام خلطة غنية أكثر من حالة إستخدام الركام الكبير الممثل بالمنحنيات رقم (١). ويعني تداخل التدرج الحبيبي الأساسى فى منطقتين من هذه الأشكال الثلاث، إحتمال حدوث إنفصال للخلطة الخرسانية، ناتج من غياب أحجام بينية للركام. ومن أجل ذلك يفضل إستخدام الركام الذى يقع تدرجه فى منطقة واحدة. ويلزم أن يقع تدرج الركام الحقيقي بين حدود تلك المنحنيات ولا يتقاطع معها أما فى الطبيعة فيستخدم الركامين الكبير والصغير منفصلين والذى يمكن أن تحدد نسب الخليط بحيث يوفى تدرجه الشامل بالقيم المحددة فى مقاس معين (غالباً مقاس ٥ مم) . ويفضل أن ينطبق تدرج الركام الشامل فى نهايتى المنحنيات (أى عند المقاس ١٥٠ ميكرون والمقاس الأكبر المستخدم) أما إذا كان الركام الكبير موجوداً على هيئة مقاس واحد ، كما هو الحال دائما للركام المكسر) فإنه يلزم تطابق نقط أخرى فوق مقاس ٥ مم، أما أسفل حدود ٥ مم فإنه يلزم عمل خليط من نوعين من الرمل أو أكثر.



شكل (٤-٩) منحنيات التدرج الحبيبى لركام مقاسه الإعتبارى الأكبر ٣٨ مم.



شكل (٤-١٠) منحنيات التدرج الحبيبى لركام مقاسه الإعتبارى الأكبر ١٩,٠٥ مم.



شكل (٤-١١) منحنيات التدرج الحبيبي لركام مقاسه الاعتباري الأكبر ٩,٥مم

تدرج الركام الكبير والصغير والشامل تبعاً للمواصفات القياسية المصرية

الركام الصغير

يقسم التدرج الحبيبي للركام الصغير إلى أربعة مناطق كما هو مبين بالجدول (٤-٩)

وهذه المناطق تشمل المقاسات المختلفة من الركام الصغير كالآتي:

منطقة التدرج الأول : وتشمل حدود الركام الصغير المتوسط

منطقة التدرج الثانية : وتشمل حدود الركام الصغير الخشن.

منطقة التدرج الثالثة : وتشمل حدود الركام الصغير الناعم.

منطقة التدرج الرابعة : وتشمل حدود الركام الصغير الناعم جداً.

الركام الكبير :

يقسم التدرج الحبيبى للركام الكبير طبقاً للمقاس الإعتبارى الأكبر له كما هو مبين بالجدول (٤-١٠)

جدول (٤-٩) تدرج الركام الصغير تبعاً للمواصفات القياسية المصرية م . ق ٧١/١١٠٩

المناخل القياسية		النسبة المئوية المارة من المنخل بالوزن			
رقم المنخل	العرض الإسمى للفتحة (مم)	منطقة التدرج الأولى	منطقة التدرج الثانية	منطقة التدرج الثالثة	منطقة التدرج الرابعة
١٥	٩,٥١	١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠
١٩	٤,٧٦	١٠٠-٩٠	١٠٠-٩٠	١٠٠-٩٠	١٠٠-٩٥
٢٢	٢,٨٣	٩٥-٦٠	١٠٠-٧٥	١٠٠-٨٥	١٠٠-٩٥
٢٦	١,٤١	٧٠-٣٠	٩٠-٥٥	١٠٠-٧٥	١٠٠-٩٠
٣٠	٠,٧٠٧	٣٤-١٥	٥٩-٣٥	٧٩-٦٠	١٠٠-٨٠
٣٤	٠,٣٥٤	٥٠ - ٢٠	٣٠-٨	٤٠-١٢	٥٠-١٥
٣٨	٠,١٧٧	١٠-٠	١٠-٠	١٠-٠	١٥-٠

جدول (٤-١٠) تدرج الركام الكبير تبعاً للمواصفات القياسية المصرية م.ق ٧١/١١٠٩

المناخل القياسية		المقاس الإعتبارى الأكبر (ملليمتر)				
رقم المنخل	العرض الإسمى للفتحة (مم)	٤٠	٣٢	٢٥	٢٠	١٦
٧	٣٨,١	١٠٠-٩٥	-	-	-	-
٨	٣٢,٠	-	١٠٠-٩٥	-	-	-
١٠	٢٢,٦	-	-	١٠٠-٩٥	-	-
١١	١٩,٠	٧٥-٣٠	٨٥-٥٠	٩٥-٧٥	١٠٠-٩٥	١٠٠
١٢	١٦,٠	-	-	-	-	١٠٠-٩٠
١٥	٩,٥١	٤٠-١٠	٥٠-١٥	١٧,٥-٥٥	٦٠-٢٠	٨٠-٤٠
١٩	٤,٧٥	٥-٠	٥-٠	٧,٥-٠	١٠-٠	١٠-٠

الركام الشامل :

يقسم التدرج الحبيبى للركام الشامل تبعاً للمقاس الإعتباري له كما هو هو مبين بالجدول رقم (٤-١١)

جدول (٤-١١) تدرج الركام الشامل تبعا للمواصفات القياسية المصرية م.ق ٧١/١١٠٩

المناخل القياسية		المقاس الإعتبارى الأكبر (ملليمتر)				
رقم المنخل	العرض الإسمى للفتحة (مم)	٤٠	٣٢	٢٥	٢٠	١٦
٧	٣٨,١	١٠٠-٩٥	-	-	-	-
٨	٣٢,٠	-	١٠٠-٩٥	-	-	-
١٠	٢٢,٦	-	-	١٠٠-٩٥	-	-
١١	١٩,٠	٨٠-٤٠	٩٠-٦٥	٩٥-٧٥	١٠٠-٩٥	-
١٢	١٦,٠	-	-	-	-	١٠٠-٩٠
١٥	٩,٥١	٦٠-٣٠	٧٠-٣٥	٧٠-٤٠	٧٥-٥٠	٨٥-٦٠
١٩	٤,٧٦	٥٠-٢٠	٥٠-٢٠	٥٠-٢٠	٥٥-٢٥	٦٥-٣٠
٢٢	٢,٨٣	-	-	-	-	-
٢٦	١,٤١	-	-	-	-	-
٣٠	٠,٧٠٧	٣٠-٣	٣٠-٣	٣٠-٣	٣٥-٥	٣٥-٥
٣٤	٠,٣٥٤	-	-	-	-	-
٣٨	٠,١٧٧	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر

٤-٥ الخواص الكيميائية للركام

ولأن الاستخدام التقليدي للركام فى الخرسانة هو انه مادة مالئة خاملة للحصول على الغرض المطلوب من استخدامه ولكن هذا التعبير غير مطلق حيث لا تكون كل حبيبات الركام خاملة بعد تغليفها بعجينة الاسمنت، حيث أنه قد يحدث أى تفاعل كيميائى مسببا مشاكل كثيرة خطيرة فى الخرسانة. وقد يظهر بصفة عامة التفاعل الكيميائى فى العناصر الخرسانية الانشائية على صور مختلفة كما يلى:

- إذا كان بالركام مواد ضارة مثل الشوائب والاملاح والتى تسبب تبقيع فى السطح الخارجى للخرسانة المنتجة.
- إذا كان بالركام مواد كيميائية تتفاعل مع الاسمنت مؤثرة على مقاومة الخرسانة ومتانتها مع الزمن، ومسببة تشرخ وتفتت فى الخرسانة.
- إذا كان الركام يتفاعل مع الاسمنت العالى القلوية (ظاهرة التفاعل القلوى للركام) مسببا تشرخ ونقص فى مرونة ومقاومة الخرسانة.

وهنا يمكن تلخيص الخواص الكيميائية للركام فى تأثيرات مختلفة عليها وهى:

١- المواد الضارة فى الركام (الشوائب العضوية- الطين والمواد الناعمة- الأملاح- الحبيبات غير الثابتة)

٢- ثبات حجم الركام.

٣- التفاعل القلوى للركام.

٤-٥-١ المواد الضارة فى الركام Deleterious Substances in Aggregate

توجد هناك ثلاثة مجموعات ممثلة للمواد الضارة فى الخرسانة:

المجموعة الأولى: الشوائب وهى التى تعوق عملية إماهة الأسمنت.

المجموعة الثانية : المواد المغلفة للركام وهى التى تحد من الترابط الجيد بين الركام وعجينة الأسمنت.

المجموعة الثالثة : فهى تواجد حبيبات بالركام ضعيفة أو غير ثابتة فى طبيعتها. وقد يكون كل الركام أو جزء منه ضارا بعملية التفاعل الكيميائى بين الركام وعجينة الأسمنت مثل تلك التى تسبب التفاعل القلوى للركام والتى سوف تشرح بالتفصيل فيما بعد.

الشوائب والأملاح Impurities and Salt

قد لا يكون الركام مناسباً لصناعة الخرسانة على الرغم من كونه قوياً ومقاوماً للتآكل وذلك بسبب احتواءه على شوائب عضوية تحد من التفاعل الكيميائى للإماهة وتكون المواد العضوية الموجودة بالركام غالبا من ناتج التحلل للمواد النباتية. وتتواجد تلك المواد فى الرمل ، أكثر من تواجدها بالركام الكبير. و قد تتفاعل هذه الشوائب مع الأسمنت أو تغلف حبيباته فتمنع التماسك أو تؤخر زمن الشك وتصلد الأسمنت وبالتالي تضعف الخرسانة ولا تعتبر كل المواد العضوية ضارة بالخرسانة، وعليه يلزم التأكد من سلوكها بإجراء الاختبار المناسب عليها. وقد يكون مفيدا تقدير كمياتها بالركام بواسطة إختبار تعيين الشوائب العضوية بالركام والذى سوف يتم شرحه بالتفصيل فيما بعد.

وقد يحتوى الركام على بعض الأملاح وخاصة الرمل من البحار والأنهار. فإن كان كذلك فإنه يلزم غسله بالماء العذب لإزالة الأملاح به. إلا أن الرمال البحرية قد يصل محتوى الأملاح بها إلى أعلى من ٥% من وزنها. فإذا لم يزال هذا الملح فإنه سوف يمتص الرطوبة من الهواء ويسبب التزهر وهو عبارة عن تكون ترسيبات بيضاء على سطح الخرسانة. وقد ينتج عن هذه الأملاح صدأ لحديد التسليح. إلا أنه يمكن الحد من هذا الصدأ إذا كانت الخرسانة ذات جودة عالية وباستخدام غطاء كاف لحديد التسليح. وليس من المتوقع حدوث متاعب فى الخرسانة الكتلية. وقد يحتوى الزلط البحرى على محتوى عال من الصدفيات البحرية بالإضافة إلى هذه الأملاح والتى تؤثر على تشغيلية خرساناتها و على مقاومتها.

الطين والمواد المغلفة للركام Clay and Other Fine Materials

هنالك العديد من المواد الناعمة التى قد تتواجد فى الركام. من أهم هذه المواد الطين و الطمى وأتربة الكسارات. يتواجد الطين فى الركام على هيئة غلاف لسطح الحبيبات، والذى قد يعوق الترابط بين الركام وعجينة الأسمنت. ويتراوح مقاس الطمى بين (٢ميكرون و ٦٠ميكرون) ويتواجد فى الركام الذى تحلل من الترسيبات الطبيعية. أما أتربة الكسارات فهى مواد ناعمة تنتج خلال تحويل الصخر إلى أحجار مكسرة أو عند تحويل الزلط إلى رمل مكسر ويمكن إزالة هذه الأتربة بالغسيل. وقد يكوّن الطمى والأتربة الناعمة أغلفة مثل أغلفة الطين، أو قد يتواجد على هيئة حبيبات سائبة غير متماسكة مع الركام الكبير. ومهما كانت صورة تواجده، فإنه لا يجوز أن يزيد محتوى الطمى والأتربة الناعمة عن القيم المحددة بالمواصفات، حيث أن مساحة أسطحها كبيرة ويلزم زيادة متطلبات المياه اللازمة لترطيب كل حبيبات الخليط. ويسبب الركام ذى المواد المغلفة النشطة كيماويا مشاكل خطيرة. أما إذا كانت المواد المغلفة للركام جيدة التماسك وكانت متزنة كيماويا وليس لها تأثيرات ضارة، فليس هنالك أى إعتراض على إستخدام ذلك الركام بما به من مواد مغلفة له، إلا أن إنكماش الخرسانة سوف يتزايد.

وتحدد المواصفات القياسية المصرية **محتوى الطين والطمى والأتربة الناعمة** فى الركام بالقيم التالية:

٣% بالوزن للرمل.

٥% بالوزن للرمل الناتج من الأحجار المكسرة.

١% بالوزن للركام الكبير من الزلط أو كسر الزلط.

٣% بالوزن للركام الكبير من كسر الحجارة.

وسوف يتم التعرف على كيفية تعيين نسبة الطين ولمواد الناعمة بالركام معملياً فيما بعد.

الحبيبات غير الثابتة Unsound Particels

هناك البعض القليل من الركام قد يكون غير ثابت، وهنالك نوعين من هذه المواد غير الثابتة:

- الأول: الذى لا يستطيع الحفاظ على تكامله.
- الثانى: هو الذى يسبب إنتفاخات ضاغطة إذا تعرض للتجمد أو حتى إذا تعرض للماء. وقد تكون بعض حبيبات الركام ملوثة بمواد تتفاعل قلوياً مع الأسمنت.

ومن أهم العناصر الضارة النشطة فى الركام ما يلي:

- الغطاء الطينى على حبيبات الركام.
- الطين والجزئيات المتحوله من الصخر.
- الجزئيات القابلة للامتصاص وذات المسامية الدقيقة.
- الجزئيات من الفحم وخفيفة الوزن.
- الجزئيات والغطاءات الضعيفة والطرية.
- العناصر العضوية.
- الميكا.
- الكلوريدات.
- الكبريتات.
- البيربت (ثانى كبريتيد الحديد).
- الرصاص والزنك والكادميم القابل للذوبان.
- العناصر القلوية القابلة للتفاعل.
- القلويات المحررة.

يحدد جدول (٤-١٢) صلاحية ركام الخرسانة تبعا للمواصفات المصرية م.ق ٧١/١١٠٩ . وتوجد أغلب المواد الضارة المذكورة سابقاً فى ترسيبات الركام الطبيعي.

جدول (٤-١٢) صلاحية ركام الخرسانة تبعا للمواصفات القياسية المصرية.

نوع الإشتراطات	متطلبات المواصفة
– الإشتراطات العامة	يلزم أن تكون الحبيبات صلدة وقوية الإحتمال ونظيفة وخالية من المخلفات الملتصقة ومن الحبيبات الرقيقة المفلطحة ومن الحبيبات العضوية، وعلى أن تكون المقاسات المختلفة للحبيبات موزعة توزيعا منتظما فى الركام المستعمل.
- المواد الضارة	لا يحتوي الركام على الحديد أو الفحم أو الميكا أو الطين الصفحي أو الشوائب العضوية أو المواد الطينية أو الأصداف البحرية أو المواد الرخوة أو الأملاح أو القلويات بكميات ضارة. ولا يعتبر الركام الذى يتفاعل قلوياً مع الأسمنت مقبولاً.
– حدود الطين والمواد الناعمة	الركام الكبير > ١% بالوزن. الركام الصغير > ٣% بالوزن (الرمل أو رمل الزلط المكسر) > ٨% بالوزن (كسر الحجارة)
– كمية الشوائب العضوية	يلزم أن يكون محتوى الشوائب العضوية مع متطلبات الإختبار القياسى وذلك بمقارنة لون المحلول بتركيز ٣% هيدروكسيد الصوديوم وكيماويات أخرى عند غمر الرمل فيه بلون المحلول القياسى الأفتح منه.
– مقاومة الركام الكبير للتهشيم (معامل التهشيم)	> ٤٥% بالوزن لركام الخرسانة التى لا يتعرض سطحها للتآكل. > ٣٠% لركام الخرسانة التى يتعرض سطحها للتآكل مثل ممرات المطارات والطرق.
– مقاومة الركام الكبير للصدم (معامل الصدم)	>٤٥% بالوزن لركام الخرسانة التى لا يتعرض سطحها للتآكل ٣٠% لركام الخرسانة التى يتعرض سطحها للتآكل مثل ممرات المطارات والطرق.
– مقاومة الركام الكبير للبرى (معامل البرى)	> ١٦% باستخدام مكنة لوس أنجلوس
– التدرج الحبيبى	يجب أن يتفق تدرج الركام مع الحدود المبينة فى جدول (١-١٦-١)، (١-١٦-٢) ،(١-١٦-٣)
– بيانات إضافية أخرى	مصدر توريد الركام– إسم المنطقة– إسم المحجر– نوع الركام.

٤-٥-٢ ثبات حجم الركام Soundness of Aggregate

ثبات حجم الركام هو قدرة الركام على مقاومة التغيرات الحجمية الزائدة كنتيجة للتغيرات فى الظروف الطبيعية. وتختلف ظاهرة التغيرات الحجمية للركام عن ظاهرة التمدد الناتج من التفاعلات الكيميائية بين الركام والقلويات الموجودة بالأسمنت. ومن الظواهر والأسباب الطبيعية لعدم ثبات حجم الركام، التجمد والإذابة. وتغيرات الحرارة فوق درجة التجمد. والتراوح بين الرطوبة والجفاف. ويعتبر الركام غير ثابت حجميا عندما تتسبب التغيرات الحجمية المذكورة فى تدهور الخرسانة. وقد يتراوح هذا بين ظواهر سطحية بسيطة إلى وضع خطر إنشائيا.

٤-٥-٣ التفاعل القلوى للركام Alkali - Aggregate Reaction

يوجد نوعان من التفاعل القلوى للركام هما التفاعل القلوى مع السليكا و التفاعل القلوى مع الكربونات والنوع الأول أكثر إنتشاراً. ومشكلة التفاعل القلوى للركام أنه قد لايظهر إلا بعد زمن طويل ، كما أنه لا يوجد حتى الآن إختبار سريع ودقيق يمكن من خلاله معرفة إذا كان خلط ركام معين مع أسمنت معين بنسبة معينة سيؤدى إلى ظهور هذه المشكلة أم لا ، ونفس الوقت لاتوجد طريقة محددة للعلاج الدائم لهذه الظاهرة. وعلى أى حال فإن الكود المصرى لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية (٢٠٠١) قد تعرض لهذه الظاهرة وذكر بعض الإحتياطات الخاصة فى هذا الصدد:

أ- التفاعل القلوى مع السليكا Alkali - Silica Reaction

حيث تحتوى بعض أنواع الركام على أنواع مختلفة من السليكا النشطة مثل الأوبال والكرستوباليت التى قد تتفاعل كيميائياً مع القلويات الموجودة أصلاً فى الأسمنت وغيره مثل أكسيد الصوديوم ($Na2O$) وأكسيد البوتاسيوم ($K2O$). وقد ينتج عن هذه التفاعلات مواد جيلاتنية تنتفش عند إمتصاصها للماء مما يؤدى إلى حدوث إجهادات داخلية فى الخرسانة قد تسبب تشققها أو تفتتها. وللحد من خطر التفاعل القلوى مع السليكا يمكن إتباع ما يلى:

١- إستعمال أسمنت بورتلاندى يحتوى على نسبة منخفضة من القلويات لا تتجاوز ٠,٦% محسوبة على هيئة أكسيد صوديوم (Na_2O).

٢- تحديد محتوى القلويات المكافىء لأكسيد الصوديوم (Na_2O) فى الخلطة الخرسانية بما لايزيد على ٣,٠ كج/م٣.

٣- إحلال جزء من الأسمنت فى الخلطة الخرسانية بمواد بوزولانية وذلك بعد الرجوع إلى مصادر متخصصة لتحديد كمية البوزولانا و مدى فاعليتها.

٤- العمل على تقليل نفاذ الماء إلى الخرسانة بإستخدام أغشية أو دهانات غير منفذة للماء.

ب- التفاعل القلوى مع الكربونات Alkali - Carbonate Reaction

قد تتفاعل بعض أنواع الركام من الحجر الجيرى الدولوميتى (Dolomitic limestone) مع القلويات فى الأسمنت منتجة مركبات تؤدى –مع مرور الوقت– إلى حدوث تمدد يؤدى بدوره إلى ظهور شروخ بالخرسانة تؤثر على تحملها مع الزمن. ويجب عند إكتشاف هذه الظاهرة فى الركام إستبعاده من الإستخدام أو إستخدامه مع أسمنت لاتزيد نسبة القلويات فيه على ٠,٤%. ونظراً لأن هذه الظاهرة تتأثر بالتركيب المعدنى للركام ونسبة الكالسيت إلى الدولوميت فإنه يجب الرجوع إلى جهات متخصصة لتعيين مدى تأثير هذه الظاهرة.

٤-٦ الخواص الميكانيكية للركام

من الضروري معرفة مجموعة من الخواص الميكانيكية للركام بجانب مقاومته للضغط، وبالأخص عندما تكون الخرسانة معرضة إلى تآكل عالي بالاحتكاك أو عند استخدامها فىالمطارات أو الطرق العامة. ومن أهم الخواص الميكانيكية المطلوب دراستها هي:

- مقاومة الركام
- متانة الركام
- صلادة الركام
- تحمل الركام مع الزمن

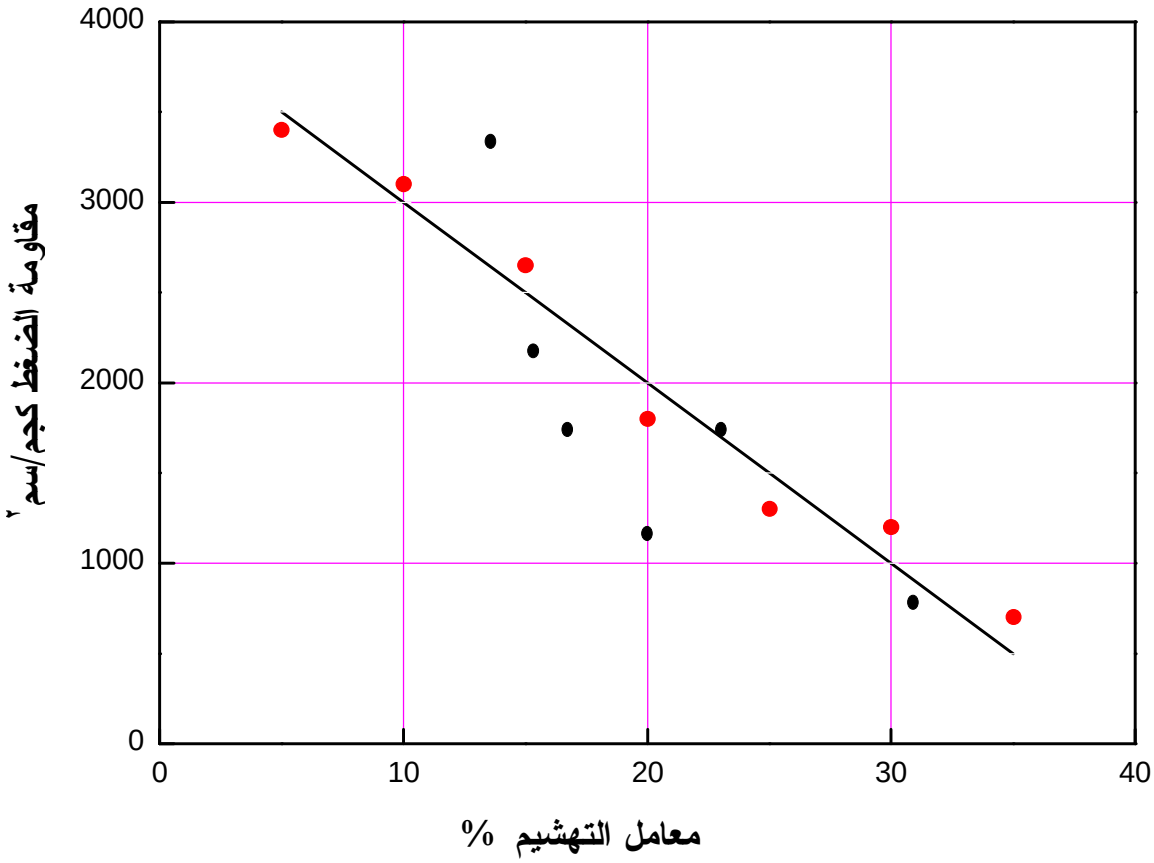
٤-٦-١ مقاومة الركام Strength of Aggregate

بصفة عامة لا يمكن أن تزيد مقاومة الخرسانة بدرجة كبيرة عن مقاومة الركام المكون لها بالرغم من صعوبة تحديد مقاومة حبيباته منفردة. فإذا أدى الركام إلى قيم مقاومة ضعيفة لخرسانته، بمعنى أن الكثير من حبيباته إنشرخت أثناء اختبار خرسانته للضغط فهذا يعني بالتأكيد أن مقاومة الركام تقل عن مقاومة الخرسانة الممثلة له. ولا تستخدم هذه النوعية من الركام إلا لأنواع الخرسانة ضعيفة المقاومة. ولا تعتمد مقاومة الخرسانة فقط على المقاومة الميكانيكة للركام ولكن تعتمد إلى درجة كبيرة على درجة امتصاصه ومساميته وخواص ترابطه. وتتراوح مقاومة الكسر للركام بين (٨٠٠-٢٥٠٠) كجم/سم^{٢} ويعطي جدول (٤-١٤) قيماً لمقاومة الضغط لأنواع مختلفة من الصخور. وتجدر الإشارة إلى أن المقاومة المطلوبة للركام هى أعلى كثيراً من المقاومة المطلوبة لخرسانته. و يعطى اختبار مقاومة الركام الكلى للتهشيم فكرة جيدة عن خواصه فى التهشيم ، حيث أظهرت النتائج توافقاً بين قيم تلك المقاومة ومقاومة الصخر للضغط. ومقاومة الركام الكبير للتهشيم هى مؤشر جيد عند التعامل مع أنواع مختلفة من الركام مجهولة السلوك، وخصوصاً عند توقع مقاومات منخفضة مثل حالة الحجر الجيري وبعض الجرانيت والبازلت. يمثل شكل (٤-١٣) العلاقة النمطية بين مقاومة الضغط للصخر الأساسى ومعامل الركام الكلى للتهشيم، حيث أنه يوضح أنه كلما زادت مقاومة الضغط قل معامل التهشيم ويجب ألا يزيد معامل التهشيم عن القيم الآتية:

- ٣٠% للركام المستعمل فى الخرسانة التى لا تتعرض أسطحها للتآكل.
- ٢٥% للركام المستعمل فى الخرسانة التى تتعرض أسطحها للتآكل مثل الطرق وممرات المطارات.

جدول (٤-١٤) مقاومة الضغط لمجموعة من الصخور المستخدمة كركام للخرسانة

نوع الصخور	مقاومة الضغط المتوسطة (كجم/سم٢)
الكوارتز	٢٥٢٠
الجرانيت	١٨١٠
الحجر الجيرى	١٥٩٠
الحجر الرملي	١٣١٠



شكل (٤-١٣) العلاقة بين مقاومة الضغط للصخر الأساسي ومعامل التهشيم للركام الناتج من نفس الصخر.

٤-٦-٢ متانة الركام Toughness of Aggregates

متانة الركام هي قدرته على مقاومة أحمال الصدم. ويمكن تعيين المتانة معملياً وذلك بواسطة سقوط ثقل قياسي تحت تأثير وزنه حراً من ارتفاع محدد لتمثيل حمل صدمي على ركام محشو فى وعاء إسطوانى الشكل وذلك لعدد خمسة عشر مرة، حتى يتسبب هذا السقوط للثقل القياسي فى حدوث تفتيت للركام بنفس أسلوب تفتيته فى اختيار تعيين مقاومة التهشيم. وسوف يتم ذكر اختبار تعيين معامل الصدم للركام فيما بعد فى بند اختبارات الركام وتنص المواصفات أن لا تتعدى قيمة معامل الصدم للركام الكبير عن :

- ٤٥% بالوزن للركام المستخدم فى أعمال الخرسانة المختلفة والتى لا تتعرض أسطحها للتآكل.
- ٣٠% بالوزن للركام المستخدم فى الخرسانة التى تتعرض أسطحها للتآكل مثل المطارات والطرق.

٤-٦-٣ صلادة الركام Hardness of Aggregates

يعبر عن الصلادة بمقاومة الخرسانة للتآكل فى الاحتكاك والبرى، وخاصية الصلادة هامة بالأخص للخرسانة المستخدمة فىالطرق وأسطح الأرضيات المعرضة إلى حركة مرورية ثقيلة ويمكن تعيين التآكل بالاحتكاك بأكثر من اختبار وسوف يتم شرحها فيما بعد. ويمثل جدول (٤-١٥) القيم المتوسطة لمقاومة الركام للضغط ، والتهشيم وقيمة التآكل بالاحتكاك، والصدم لمجاميع مختلفة من الصخور.

جدول (٤-١٥) القيم المتوسطة للاختبارات لبعض مجاميع الصخور

مجموعة الصخور	الثقل النوعى	مقاومة الكسر كجم/سم^2	مقاومة الركام للتهشيم %	قيمة التآكل	قيمة الصدم %	المقاومة بالاحتكاك	
						جاف	رطب
الكوارتز	٢,٦٢	٣٣٠٠	١٦	١٨,٩	١٦	٢,٥	٣,٠
البازلت	٢,٨٥	٢٠٠٠	١٢	١٧,٦	١٦	٣,٣	٥,٥
الجرانيت	٢,٦٩	١٨٥٠	٢٠	١٨,٧	١٣	٢,٩	٣,٢
الحجر الجيرى	٢,٦٩	١٦٥٠	٢٤	١٦,٥	٩	٤,٣	٧,٨

٤-٦-٤ تحمل الركام مع الزمن Durability of Aggregates

مقاومة العوامل الجوية: معظم أنواع الركام الشائع الاستخدام فى مصر مثل الزلط والدلوميت والجرانيت والبازلت تقاوم العوامل الجوية بالشكل المناسب والتى تضمن جدية فائدتها من استعمالها فى كافة أعمال الخرسانات كما أنه يراعى عدم استعمال الصخور الطبقية فى أعمال الخرسانات المعرضة للعوامل الجوية بشكل مباشر.

مقاومة الحريق: يختلف الركام فى مقاومته للحريق حسب مصدر إنتاجه طبيعياً كان أو صناعياً ، فمن أفضل أنواع الركام لمقاومة الحريق خبث الأفران العالية والحجر الخفاف وكسر الطوب. أما أنواع الركام التى تكون قليلة المقاومة للحريق هى الجرانيت والبازلت.

مقاومة البرى: ومن أهم الأنواع التى تقاوم البري مع الزمن هو الحجر الجيري الصلد وهو الركام المستخدم عموماً فى أعمال رصف الطرق والذى يقاوم البري بشكل فعال لتحمله مع الزمن.

٤-٧ الخواص الحرارية للركام

تنحصر الخواص الحرارية للركام فى ثلاث خواص رئيسية قد تكون مؤثرة على خواص الخرسانة وتلك الخواص هى :

- التمدد الحرارى للركام.
- الحراة النوعية للركام.
- الموصلية الحرارية للركام.

٤-٧-١ التمدد الحرارى للركام :

يختلف التمدد الحرارى للركام باختلاف نوع حبيبات الركام، ويؤثر التمدد الحرارى للركام على التمدد الحراري للخرسانة المصنعة منه، وكلما زاد التمدد الحرارى للركام كلما زاد التمدد الحررای للخرسانة. ويظهر تأثر الخرسانة بوضوح عندما يختلف معامل تمدد حبيبات الركام إختلافا كبيراً عن معامل تمدد عجينة الأسمنت حيث انه يحدث تصدع بين ترابط الركام مع العجينة الأسمنتية. وبصفة عامة يختلف معامل التمدد الحراري للصخور المختلفة من ٠,٩ × ١٠$^{-٦}$ إلى ١٦×١٠$^{-٦}$ /°م اما معامل التمدد الحررای للعجينة الأسمنتية البورتلاندية فيتراوح بين ١١× ١٠$^{-٦}$ إلى ١٦ × ١٠$^{-٦}$ /°م. وقد تصل بعض العجائن إلى معامل تمدد حرارى قيمته ٢٠,٧ × ١٠$^{-٦}$ /°م ويرجع زيادته إلى معامل تشبع

العجينة الأسمنتية، وهذه المونة تمثل مشكلة كبيرة إذا كانت مستخدمة مع ركام له معامل تمدد حـــرارى منخفض جداً مثل الجرانيت والرخام والحجر الجيري، حيث أنه بهذا الاختلاف الكبير بين معاملي التمدد لكل من الركام والعجينة الأسمنتية تتأثر الخرسانة ممثلة فى التصدع بين الركـــام والعجينـــة الأسمنتيـــة. وجدول (٤-١٦) يعطى معاملات التمدد الحرارى بمجموعة من الصخور.

جدول (٤-١٦) معاملات التمدد الحرارى لمجموعة من الصخور

نوع الصخر	معامل التمدد الحرارى الطولى × ١٠$^{-٦}$ /°م
الجرانيت	١,٨ إلى ١١,٩
بازلت	٣,٦ إلى ٩,٧٠
الحجر الجيرى	٤,٣٠ إلى ١٣,٩٠
الدلوميت	٦,٧ إلى ٨,٦
الرخام	١,١٠ إلى ١٦

٤-٧-٢ الحرارة النوعية والموصلية الحرارية للركام:

تؤثر الحرارة النوعية والموصلية الحرارية للركام على مدى تغير الحرارة فى الخرسانة ، وأيضا على مـــدى انتقال هذه الحرارة داخل الخرسانة. وتعتبر هاتان الخاصيتان ذات أهمية كبيرة جداً عند تنفيذ الخرســـانة الكتلية او عند ضرورة إستخدام خرسانة فى عمل العزل الحرراي ، ولكنها ليـــست بـــذات قيمـــة فى خرسانة المنشآت المعتادة التقليدية.

وتعرف **الحرارة النوعية للمادة (C_p) Specific Heat** بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة واحد كج من المادة درجة واحدة مئوية. ويقدر بوحدات جول/ كج س ٥ أو بوحدات وات . ثانية / كج س ٥.

أمـا **الموصلية الحراريـة (k) Thermal Conductivity** فتعرف بأنها كمية الحرارة الـــتى تمـــر عمودياً على السطح فى وحدة الزمن خلال مقطع متجانس من المادة مساحته الوحدة وتخانته الوحـــدة عندما يوجد فرق فى درجات الحرارة بين سطحى المادة مقداره الوحده. وتختلف هذه الخاصية بإختلاف درجات الحرارة وإختلاف كثافة المادة ودرجة تشبعها بالرطوبة ، وتقـــدر بوحـــدات وات/ م س ٥ ، حيث س ٥ ترمز إلى وحدة درجات الحرارة المئوية.

٤-٨ اختبارات الركام

يشتمل هذا الجزء على الاختبارات التى تجرى على الركام معملياً وكذلك أسس القبول اشتراطات الرفض لتحديد مدى تحقيقه للخواص المطلوبة لأعمال الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد. ويشتمل هذا الجزء على الاختبارات الطبيعة والميكانيكية والكيميائية التى تساعد فى الحكم على جودة الركام. ويتناول هذا الجزء كذلك اختبارات الحكم على تدرج الركام وكثافته والمواد المختلطة به وشكل الحبيبات والثبات الحجمي والصلادة والشوائب العضوية والأملاح الضارة المختطة بالركام. وعلى القائم باختبار الركام أن يفحصه بصرياً لكي يحدد شكل الركام العام من كونه مستديرا أو زاويا أو غير منتظم، وهل يحتوي على ركام مفلطح أو عصوي، وعلى القائم بالاختبار تحديد (حبيبي أم بلوري) وذلك حالة السطح (ناعم أم خشن). ويتم تحديد المتطلبات المذكورة آنفاً من خلال الاختبارات التالية:

أولاً: الاختبارات الطبيعية والميكانيكية:

- طرق اخذ العينات.
- اختبار التحليل بالمناخل للركام.
- اختبار تعيين النسبة المئوية للامتصاص للركام.
- اختبار تعيين الوزن النوعى الظاهري للركام.
- اختبار تعيين الوزن الحجمي والنسبة المئوية للفراغات للركام.
- اختبار تعيين محتوى الفراغات بين حبيبات الركام الصغيرة غير المدموك (تأثير شكل الحبيبات، حالة السطح للحبيبات والتدرج).
- اختبار تعيين معامل العصوية للركام الكبير.
- اختبار تعيين معامل التفلطح للركام الكبير.
- اختبار تعيين الزيادة الحجمية للركام الصغير.
- اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام بالوزن.
- اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام الصغير بالحجم.
- اختبار تعيين تأثير الشوائب العضوية فى الركام الصغير على مقاومة المونة للضغط.
- اختبار تعيين معامل التهشيم للركام الكبير.
- اختبار تعيين مقاومة الركام الكبير للبري بطريقة لوس انجلُس.
- اختبار تعيين معامل الصدم للركام الكبير (اختبار متانة الركام).
- اختبار تعيين درجة التآكل بالاحتكاك للركام الصغير.

ثانيا الاختبارات الكيميائية والأدائية:

- **اختبار تعيين الشوائب العضوية للركام**
- **تعيين محتوى الأملاح (الكلوريدات – الكبريتات)**

٤-٨-١ طرق أخذ العينات Aggregate Sampling

أ- الهدف من الاختبار

تهدف هذه الطرق لتحديد الوسائل القياسية لأخذ وتحضير عينات الاختبار للركام الكبير أو الصغير أو لخليط.

ب- العينات المختبرة

١– أخذ وتحضير العينات

تجهيز عينات الركام الصغير أو الكبير أو الخليط اللازمة لإجراء الاختبارات المبينة فيما بعد بأخذها من المحجر وعند التوريد، وتؤخذ عينة واحدة لكل ١٠٠ متر مكعب من الركام إلا فى الحالات التى يكون فيها الركام مأخوذ من محاجر معروفة الخواص فيجوز الاكتفاء بعينة واحدة بشرط ألا يكون هناك اختلاف واضح فى الركام المورد.

٢– أخذ العينة الكلية للركام

تحضر العينة بأخذ كميات متساوية من الركام على وجه التقريب من مواضع مختلفة، ثم تخلط هذه الكميات مع بعضها البعض خلطاً تاماً لتكون العينة الممثلة للركام، على ألا يقل عدد النقط التى تؤخذ منها كميات الركام عن عشر نقاط.

جـ- خطوات الاختبار

١– تحضير عينة الاختبار الجزئية

تحضر عينة الاختبار بتجزئة العينة الكلية، وتكون هذه التجزئة بالأوزان المبينة بالجدول (٤–١٧) باستخدام التقسيم الربعي كما يلي:

طريقة التقسيم الربعى

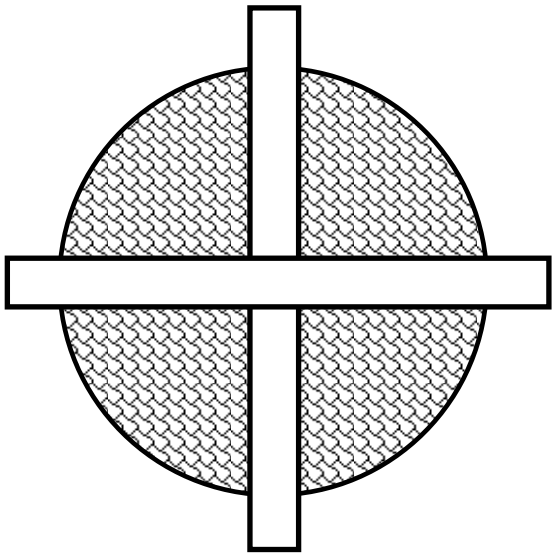
تعمل التجزئة بالخلط التام لكميات الركام المأخوذة من النقاط المختلفة والمكونة للعينة الكلية وذلك بعمل كوم مخروطي منها ثم يقلب، ويعاد عمل الكوم المخروطي مرة ثانية وتجرى هذه العملية ثلاث مرات ثم تسطح الكومة المخروطية الثالثة بحرف لوح من الخشب. ثم تقسم الكومة الدائرية المسطحة إلى أربعة أقسام وذلك بوضع لوحين من الخشب أو المعدن على سطحها على شكل قطرين متعامدين ثم ضغطها كما هو مبين بالشكل (٤-١٤) ثم يستبعد جزأن متعامدان قطرياً ويؤخذ الجزان ويخلطان مع بعضهما خلطاً تاماً، وتكرر عملية التقسيم الربعي على خليط هذين الجزأين مرة أو أكثر حتى يحصل على الكمية اللازمة لعملية الاختبار.

٢- تعبئة عينات الاختبار

تكون الأوعية التى ترسل فيها عينات لمعامل الاختبار متينة تتحمل أية ظروف سيئة أثناء الشحن على ألا يفقد أى جزء من الركام لا سيما المواد الناعمة، ويتوقف نوع وعاء التعبئة على طريقة شحن عينة الاختبار، وتستعمل الأكياس ذات النسيج القوى المضموم أو الصناديق الخشبية المحكمة أو الأسطونات المعدنية.

جدول (٤-١٧) عدد النقط التى تؤخذ منها عينات الركام ووزن العينة

المقاس الاعتباري للركام(مم)	المناخل القياسية		عدد نقاط أخذ الركام	وزن كمية الركام المأخوذة عند كل نقطة (كيلو جرام)	وزن العينة الكلية (كيلو جرام)	وزن عينة الاختبار (كيلو جرام)
	رقم المنخل	العرض الاسمي للفتحة (مم)				
٤٠	٧	٣٧,٥	٢٠	١٠	٢٠٠	٥٠
٣٢	٨	٢٨	٢٠	١٠	٢٠٠	٥٠
٢٥	١٠	٢٠	٢٠	١٠	٢٠٠	٥٠
٢٠	١١	٢٠	٢٠	٥	١٠٠	٢٥
١٦	١٢	١٤	٢٠	٥	١٠٠	٢٥
١٠	١٥	١٠	٢٠	٤	٨٠	٢٠
٥	١٩	٥	١٠	٤	٤٠	١٠



شكل رقم (٤-١٤) التقسيم الربعي للركام

٤-٨-٢ اختبار التحليل بالمناخل للركام

Test Method For The Determination of Sieve Analysis of Aggregates

- هذا الاختبار هو أحد الاختبارات الهامة لتحديد صلاحية الركام لاستخدامه فى الخلطات الخرسانية. وهو يختص بتحديد التدرج الحبيبي أى توزيع مقاسات حبيبات الركام فى كمية من الركام المستخرج من المصادر الطبيعية.
- فى حالة الركام الذى يحتوي على مواد طينية أو أي مواد تؤدي إلى تكتل الحبيبات فيتم غسل الحبيبات ثم تعيين التدرج الحبيبي لها بعد جفافها.

أ- الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد:

- التدرج الحبيبي أى توزيع مقاسات حبيبات الركام فى كمية من الركام وذلك لاستخدامه فى الخلطات الخرسانيه.
- معاير النعومة للركام.
- المقاس الاعتبارى الأكبر للركام.

وقبل تحديد أهذاف هذا الاختبار يجب معرفة التعريفات الآتية:

- **التدرج الحبيبي**: هو فصل المقاسات المختلفة من الركام بعضها عن بعض فى أى كمية من الركام ويكون ذلك بالتحليل بالمناخل للركام المستخرج من المصادر الطبيعية والركام المصنع والمستخدم فى الخرسانة.
- **الركام الصغير**: هو الركام الذي يمر معظمة (٩٠-١٠٠%) من منخل ٥ مم وبه بعض حبيبات قليلة كبيرة.
- **الركام الكبير**: هو الركام الذى يُحجز معظمه (٩٠ – ١٠٠%) على منخل ٥ مم ويحتوي على بعض حبيبات صغيرة.
- **الركام الشامل** هو خليط من الركام الصغير والكبير.
- **معاير النعومة للركام الصغير**: هو مجموع النسب المئوية المحجوزة على مناخل الركام القياسية التسعة مقسوما على ١٠٠، ويصف هذا المعامل مقاس حبيبات الركام فكلما صغر المعامل كلما دل ذلك على صغر مقاس الركام.
- **المقاس الاعتبارى الأكبر للركام**: هو مقاس أصغر فتحة منخل تسمح بمرور ٩٥% على الأقل من الركام الكبير أو الركام الشامل.

ب- الأجهزة المستخدمة

- ميزان حساس
- فرن جيد التهوية يمكن التحكم فى درجة حرارته حتى ١٠٥ ± ٥ درجة مئوية.
- مجموعة المناخل القياسية لكل من الركام الكبير والركام الصغير الخليط كما بالجداول (٤-١٨).
- هزاز مناخل ميكانيكى (اختيارى).
- صينية يمكن إدخالها بدون حدوث أى تغير فى وزنها.
- إناء كبير يسمح باحتواء العينة بالإضافة إلى ٥ مرات حجمها ماء.

جـ- العينات المختبرة

- تحضر عينة الاختبار بتجزأة العينة الكلية كما هو مبين باختبار طرق أخذ عينات الركام لكى تحقق الأوزان المنصوص عليها بالجدول (٤-١٩).
- تجفف عينة الاختبار حتى يثبت وزنها لأقرب ٠,١% من وزن العينة فى فرن درجة حرارته ١٠٥± ٥ درجة مئوية لمدة ٢٤ ± ٤ ساعة.

د- خطوات الاختبار

- يراعى أن تكون المناخل سليمة ونظيفة تماماً قبل استعمالها.
- قد يكون توزيع الحبيبات المحجوزة فى بعض أنواع الركام أكثر على بعض المناخل عن البعض الآخر وخاصة المقاسات الأصغر. فى هذه الحالة يمكن إضافة مناخل ذات مقاسات متوسطة تبعاً للجدول (٤-٢٠).

• اختبار التحليل بالمناخل فى حالة عينة الركام بدون غسيل

١- توزن عينة الركام الجافة بدقة لأقرب ٠,١% من وزن العينة وليكن وزنها (و).

٢- ترتب المناخل طبقاً لمقاس فتحة المنخل ترتيباً تصاعدياً ابتداءً من الوعاء ثم تنخل العينة ويبدأ النخل بالمنخل الأكبر وينتهى بالمنخل الأصغر.

٣- تجرى عملية النخل بهز المناخل ميكانيكا أو يدويا مدة كافية لا تقل عن ٥ دقائق، بحيث لا يمر من أى منخل بعدها إلا ٠,١% من وزن العينة الكلى خلال دقيقة من النخل اليدوى. تكون عملية النخل بتحريك المنخل رأسيا وأفقيا وذلك بهزه أماما وخلفا يمينا وشمالا ودائريا فى اتجاه عقرب الساعة وعكسه كما يحرك المنخل من وقت لآخر بحركة التفافية حتى يتحرك الركام باستمرار فوق وجه المنخل ليتيسر لحبيباته فرصة المرور من فتحات المنخل.

٤- يراعى أثناء نخل الركام الكبير ألا تجبر حبيباته على المرور من فتحات المنخل بالضغط عليها باليد، وفى حالة المناخل التى مقاس فتحتها ٢٠مم وأكبر يسمح بمساعدة حبيبات الركام على المرور من فتحات هذه المناخل.

٥- يراعى أثناء نخل الركام الصغير إمكان فرك التكورات المتجمعة – إن وجدت بضغطها على جدار المنخل وكذلك تستخدم فرشاة مناسبة لحك ظهر المنخل لإخلاء فتحاته من الركام الصغير كما يراعى استعمال فرشاة ناعمة فوق وجه المنخل مقاس ٠,١٥مم لمنع حدوث تجمع الركام الناعم مع عدم إحداث أى ضغط على سطح هذا المنخل.

٦- توزن مقادير الركام المحجوزة على كل منخل على حدة بالميزان الحساس ولتكن أوزانه W_1، W_2، W_3 إلخ ويراعى عند إجراء عملية النخل ألا تحمل أوجه المناخل بوزن كبير بحيث لا تزيد الكمية المحجوزة فوق مناخل الاختبار بعد انتهاء عملية النخل عن الأوزان الموضحة بالجدول (٤-٢٠).

• اختبار التحليل بالمناخل فى حالة عينة الركام المغسولة

- توضع عينة الركام المجففة فى الفرن داخل الإناء المذكور فى الأجهزة المستخدمة ويضاف إليها ماء ليصل إلى منتصف الإناء. يقلب الركام جيداً حتى تنفصل الحبيبات الأقل من ٠,٠٧٥مم عن الحبيبات الأكبر مقاساً. وقد يستلزم الأمر غمر الركام فى الماء لفترة أو استعمال فرشاة.
- يسكب ماء الغسيل مباشرة فوق المنخل ٠,٠٧٥ مم بحيث يكون المنخل ١,١٨ مم واقي فوقه مع مراعاة ما أمكن عدم السماح للحبيبات الكبيرة بالهبوط على المنخل مع ماء الغسيل.
- تكرر الخطوات على هذ النحو إلى أن يصبح ماء الغسيل رائقا. ثم توضع عينة الركام المغسولة فى الإناء مع البقايا المحجوزة على المنخلين ٠,٠٧٥مم و١,١٨مم داخل الصينية المذكورة فى الأجهزة المستخدمة.
- يوضع الركام المغسول فى فرن درجة حرارته ١٠٥ $\pm$ ٥ درجة مئوية حتى يثبت وزنه ثم يبرد ويوزن وليكن وزنه W_m.
- يحدد وزن المواد المارة من منخل الاختبار ٠,٠٧٥ ليكون : $W - W_m$.
- يستكمل الاختبار كما تم فى حالة اختبار عينة الركام بدون غسيل.

هـ- النتائج

- تحسب النسبة المئوية للركام المحجوز على كل منخل والنسبة المئوية للركام المار منه من واقع الأوزان المحجوزة على كل منخل كما هو مبين بالجدول (٤-٢١).

- فى حالة عينة الركام بعد غسلها يضاف ($W - W_m$) وهو وزن المواد المارة من منخل الاختبار ٠,٠٧٥ إلى وزن المواد المارة من أصغر فتحة منخل.
- يمكن توضيح التدرج الحبيبي للركام الحبيبي للركام بيانياً بواسطة منحني إحداثياته الرأسية تمثل النسبة المئوية المارة من المنخل واحداثياته الأفقية تمثل فتحات المناخل موقعة بمقياس رسم حسابي أو لوغاريتمي.
- يعين من النسبة المئوية للمار المقاس الاعتباري الأكبر للركام.
- يحسب معاير النعومة للركام الصغير.

و- حدود القبول والرفض

- حدود القبول والرفض للتدرج الحبيبي للركام الصغير والركام الكبير والركام الشامل كما هو موضح بالجداول (٤-٢٢) ، (٤-٢٣) ، (٤-٢٤).

جدول (٤-١٨) المناخل القياسية لاختبار التدرج الحبيبى

لوح من الصلب الطري مثقب بفتحات مربعة قطر المنخل ٤٥٠ مم أو ٣٠٠ مم (ركام كبير)	نسيج شبكى (أسسلاك مضفرة) بفتحات مربعة قطر المنخل ٣٠٠ مم أو ٢٠٠ مم (ركام صغير)
٧٥	٣,٣٥٠
٦٣	٢,٣٦٠
٥٠	١,٧٠٠
٣٧,٥	١,١٨٠
٢٦,٥	٠,٨٥٠
١٩	٠,٦٠٠
١٣,٢	٠,٤٢٥
٩,٥	٠,٣٠٠
٦,٧	٠,٢١٢
٤,٧٥	٠,١٥٠
	٠,٠٧٥*
* يمكن فى بعض التطبيقات استخدام المنخل ٠,٠٦٣مم	

جدول (٤-١٩) أقل وزن لعينة اختبار التحليل بالمناخل

المقاس الاعتباري (مم)	أقل وزن لعنية الاختبار (كجم)
٦٣	٥٠
٥٠	٣٥
٣٧,٥	١٥
٢٨	٥
٢٠	٢
١٤	١
١٠	٠,٥
٥	٠,٢
٢,٣٦	٠,٢
< ٢,٣٦	٠,١

جدول (٤-٢٠) أكبر وزن لكمية الركام المحجوزة على المناخل فى اختبار التدرج الحبيبي

أكبر وزن مسموح - كج					
فتحة المنخل	قطر المنخل		فتحة المنخل	قطر المنخل	
مم	٤٥٠ مم	٣٠٠ مم	مم	٣٠٠ مم	٢٠٠ مم
٥٠	١٤	٥	٥,٠	٧٥٠	٣٥٠
٣٧,٥	١٠	٤	٣,٣٥	٥٥٠	٢٥٠
٢٨	٨	٣	٢,٣٦	٤٥٠	٢٠٠
٢٠	٦	٢,٥	١,٨	٣٧٥	١٥٠
١٤	٤	٢	١,١٨	٣٠٠	١٢٥
١٠	٣	١,٥	٠,٨٥	٢٦٠	١١٥
٦,٣	٢	١	٠,٦٠	٢٢٥	١٠٠
٥	١,٥	٠,٧٥	٠,٤٢٥	١٨٠	٨٠
٣,٣٥	١	٠,٥٥	٠,٣٠	١٥٠	٦٥
			٠,٢١٢	١٣٠	٦٠
			٠,١٥٠	١١٠	٥٠
			٠,٠٧٥	٧٥	٣٠

جدول (٤-٢١) طريقة حساب النسبة المئوية المحجوزة والنسبة المئوية المارة فى اختبار التحليل بالمناخل

فتحة المنخل (مم)	الوزن المحجوز على كل منخل	الوزن الكلى المحجوز على كل منخل	النسبة المئوية المحجوز من الركام	النسبة المئوية المارة من الركام
٣٧,٥	W1	W1	$\frac{W_1}{W}$ x100	النسبة المئوية للمحجوز – ١٠٠
٢٠,٠	W2	W1 + W2	$\frac{W_1 + W_2}{W}$ x 100	النسبة المئوية للمحجوز – ١٠٠
١٠,٠	W3	W1+W2+W3	$\frac{W_1 + W_2 + W_3}{W}$ x100	النسبة المئوية للمحجوز – ١٠٠
٥,٠	W4	W1+W2+W3+W4	$\frac{W_1 + W_2 + W_3 + W_4}{W}$ x100	النسبة المئوية للمحجوز – ١٠٠

$$W = W_1+W_2+W_3+W_4$$

جدول (٤-٢٢) حدود القبول والرفض للركام الصغير

مقاس فتحة المنخل	النسبة المئوية للمار من المنخل			
	الحد العام للتدرج	الحدود الإضافية للتدرج		
		خشن	متوسط	ناعم
١٠,٠مم	١٠٠	–	–	–
٥,٠٠مم	١٠٠-٨٩	–	–	–
٢,٣٦مم	١٠٠-٦٠	١٠٠-٦٠	١٠٠-٦٥	١٠٠-٨٠
١,١٨مم	١٠٠-٣٠	٩٠-٣٠	١٠٠-٤٥	١٠٠-٧٥
٠,٦٠٠مم	١٠٠٠-١٥	٤٥-١٥	٨٠-٢٥	١٠٠-٥٥
٠,٣٠٠مم	٧٠-٥	٤٠-٥	٤٨-٥	٧٠-٥
٠,١٥٠مم	صفر-١٥	–	–	–

جدول (٤-٢٣) حدود القبول والرفض للركام الكبير

مقاس فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية المارة بالوزن						
	ركام متدرج (مم)			ركام بمقاس مفرد (مم)			
	٥-٤٠	٥-٢٠	١٠-٥	٤٠	٢٠	١٤	١٠
٥٠,٠٠	١٠٠	–	–	١٠٠	–	–	–
٣٧,٥٠	١٠٠-٩٠	١٠٠	–	١٠٠-٨٥	١٠٠	–	–
٢٠,٠٠	٧٠-٣٥	١٠٠-٩٠	١٠٠	صفر-٢٥	١٠٠-٨٥	١٠٠	–
١٤,٠٠	–	–	١٠٠-٩٠	–	–	١٠٠-٨٥	–
١٠,٠٠	٤٠-١٠	٦٠-٣٠	٨٥-٥٠	صفر-٥	صفر-٢٥	صفر-٥٠	١٠٠
٥,٠٠	صفر-٥	صفر- ١٠	صفر-١٠	–	صفر-٥	صفر-١٠	١٠٠-٥٠
٢,٣٦	–	–	–	–	–	–	صفر-٣٠

جدول (٤-٢٤) حدود القبول والرفض للركام الشامل

مقاس فتحة المنخل (مم)	النسبة المئوية للمار من المنخل		
	المقاس الاعتبارى ٤٠مم	المقاس الاعتبارى ٢٠مم	المقاس الاعتبارى ١٠مم
٥٠مم	١٠٠	–	–
٣٧,٥مم	١٠٠-٩٥	١٠٠	–
٢٠,٠مم	٨٠-٤٥	١٠٠-٩٥	–
١٤,٠مم	–	–	١٠٠
١٠,٠مم	–	–	١٠٠-٩٥
٥,٠مم	٥٠-٢٥	٥٥-٣٥	٦٥-٣٠
٢,٣٦مم	–	–	٥٠-٢٠
١,١٨مم	–	–	٤٠-١٥
٠,٦٠٠مم	٣٠-٨	٣٥-١٠	٣٠-١٠
٠,٣٠٠مم	–	–	١٥-٥
٠,١٥٠مم	صفر-٨	صفر-٨	صفر - ٨

٤-٨-٣ اختبار تعيين النسبة المئوية للامتصاص للركام

Determination of the Percentage of Absorpaion for Aggregate

أولاً: الركام الكبير Coarse Aggregate

امتصاص الركام الكبير للماء: هو النسبة المئوية للزيـــادة
فى وزن الركام الجاف بعد غمره فى الماء لمدة ٢٤ ساعة.

أ- الهدف من الاختبار

- يهدف هذا الاختبار لتعيين النسبة المئوية لامتصاص الركام الكبير (أكبر من ٥ مم) للماء بالوزن.

ب- الأجهزة المستخدمة

- ميزان ذو سعة مناسبة (٣كجم أو أكثر حسب وزن عينة الاختبار)
- سلة من السلك (ذات فتحات من ١-٣مم).
- خزان غير منفذ للماء وممكن لسلة السلك السابق ذكرها الدخول فيه بحرية تامة.
- قطعتان من القماش
- وعاء له نفس سعة السلة السلك.
- منخل مقاس ٥ مم.
- ماء نظيف.

جـ- خطوات الاختبار

١- يتم غسل العينة قبل الاختبار على منخل ٥ مم لإزالة كل المواد الناعمة والطمي والطين.

بالنسبة للركام المعتاد (عدا الخفيف أو الثقيل)، يجـــب ألا يقـــل وزن عينـــة الاختبـــار **بـالجرام** عن١٠٠مرة المقاس الاعتبارى الأكبر للركام **بالمليمتر**.

٢- يتم وضع عينة الاختبار فى السلة السلك، ثم تغمر فى وعاء به كمية مناسبة من الماء عنـــد درجـــة حرارة ثابتة (١٥-٢٥درجة مئوية) بحيث لا تقل المسافة بين أعلى نقطة فى السلك وسطح الماء عن ٥٠ مم

٣- بعد الغمر يزال الهواء المحبوس بالعينة وذلك برفع السلة والعينة ٢٥ مم مع التأكد من أن الـــسلة والعينة مغمورتان غمراً تاماً فى الماء، ثم يسمح لهما بالهبوط ٢٥ مرة بمعدل مرة كل ثانية.

٤- تترك السلة وعينة الركام مغمورتين غمراً تاما بالماء لمدة ٢٤ساعة.

٥- ترج السلة والعينة ثم تخرجان من الماء ويمسح الماء العالق عليهما، ثم يتم بعد ذلك تفريغ الركام من السلة ويوضع على واحدة من قطعتى القماش الجاف ويجفف سطح العينة برفق ويستعان بقطعة القماش الجافة الأخرى إذا تطلب الأمر ذلك.

٦- يتم نشر قطع الركام الكبير على سطح قطعة القماش الثانية على طبقة واحدة وتترك معرضة للهواء الجوى بعيداً عن ضوء الشمس المباشر أو أي مصدر آخر للحرارة حتى يختفي غشاء الماء المغلف لسطح حبيبات الركام بينما يكون الركام ما زال مبتلا. يتم وزن العينة وليكن وزنها (m_1).

٧- توضع العينة فى وعاء مسطح ثم توضع فى فرن تجفيف درجة حرارته ١٠٥+ 5° م وذلك لمدة ٢٤ ساعة، ويسمح للعينة أن تبرد دون تعرضها للرطوبة الموجودة بالجو ثم توزن وليكن وزنها (m_2).

د- النتائج

يتم حساب النسبة المئوية لامتصاص الركام الكبير للماء (α) من المعادلة التالية:

$$\alpha = (m_1-m_2) / m_2 * 100$$

حيث :

m_1 : وزن العينة المبتل

m_2 : وزن العينة الجاف

هـ- حدود القبول أو الرفض

تكون طبقا للجدول التالى:

المادة	النسبة المئوية للامتصاص (بالوزن)
الزلط، الحجر الجيري المكسر	٠,٥ -١ %
الجرانيت	صفر - ١ %
الحجارة	لا تزيد عن ٢,٥%

ثانياً: الركام الصغير Fine Aggregate

يختص هذا الاختبار بتعيين امتصاص الركام الصغير (أقل من ٥ مم) للماء بالوزن.

وامتصاص الركام الصغير للماء: هو النسبة المئوية للزيادة فى وزن الركام الجاف بعد غمـــره فى الماء لمدة ٢٤ ساعة.

أ- الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار لتعيين النسبة المئوية لامتصاص الركام الصغير للماء بالوزن.

ب- الأجهزة المستخدمة:

- ميزان ذو سعة مناسبة.
- قالب معدني على شكل مخروط ناقص ذي قطر داخلي علوي ٤٠ ± ٣ مم وقطر داخلى سفلى ٩٠ ± ٣ مم وارتفاع ٧٥ ± ٣ مم ومن معدن لا يقل سمكه عن ٠,٨ مم.
- قضيب دمك معدنى.

جـ- خطوات الاختبار:

١- يؤخذ حوالى ١ كجم من عينة الركام الصغير باستخدام الخطوات والإجراءات الموضحة فى اختبار طرق أخذ العينات.

٢- تجفف العينة فى وعاء أو إناء مناسب حتى تصل إلى وزن ثابت عند درجة حرارة ١١٠ ± ٥ درجة مئوية. تترك العينة لتبرد ثم تغطى بالماء بالغمر ثم تترك لمدة ٢٤ ± ٤ ساعات.

٣- يصب الماء الزائد (من التغطية بالغمر) من وعاء لآخر بحرص لتجنب فقدان جزيئات المواد الناعمة ثم تبسط العينة على سطح مستو غير ماص للماء ومعرض لتيار هواء دافئ ذى سرعة بطيئـــة ثم يمـــزج تكراريا لتأمين تجفيف متجانس. إلى أن تصل العينة لحالة الانسياب الحر.

٤- يحدد ما إذا كان هناك رطوبة سطحية على الركام الصغير أم لا باختبار العينة باستخدام المخـــروط كما يلى:

- يمسك القالب بثبات على سطح غير ماص للماء مع وضع القطر الأكبر لأسفل.
- يوضع جزء من الركام الصغير المجفف جزئيا سائبا فى القالب بملئة حتى يفيض.
- يتم دمك الركام الصغير فى القالب بواسطة ٢٥ دقة خفيفة بقضيب الدمك من أعلى ســـطح الركام ٥ مم ثم يترك ليسقط حراً. ثم يسوى السطح العلوى ويزال الركام الزائد.
- يرفع المخروط رأسياً لأعلى ويلاحظ قوام الركام الصغير إذا كانت الرطوبة السطحية مازالت متواجدة وسيأخذ الركام شكل القالب، ينما إذا هبط الركام قد وصـــل إلى حالـــة جفـــاف السطح.

٥- تؤخذ عينة من الركام الصغير بعد تجهيزها كما سبق وتوضع بوعاء مناسب ويعين وزنهـــا ولـــيكن (m_1).

٦- توضع العينة فى وعاء مسطح ثم توضع بفرن تجفيف درجة حرارته ١٠٥ $\pm$ ٥ درجة مئوية وذلك لمدة ٢٤ ساعة، ويسمح للعينة أن تبرد دون تعرضها للرطوبة الموجودة بالجو ثم توزن ولـــيكن وزنهـــا (m_2).

د- النتائج:

يتم حساب النسبة المئوية لامتصاص الركام الصغير للماء (β) من المعادلة التالية:

$$\beta = 100 * (m_1 - m_2) / m_2$$

حيث:

m_1: وزن العينة المبتلة

m_2 : وزن العينة الجافة

هـ- حدود القبول أو الرفض

يعتبر الركام الصغير مقبولا للاستخدام فى الخرسانة إذا لم تزد النسبة المئوية للامتـــصاص بالوزن عن ٢% وذلك طبقا لمشروع المواصفات القياسية المصرية ١١٠٩ – ١٩٩٢.

٤-٨-٤ اختبار تعيين الوزن النوعي الظاهري للركام

Apparent Specific Gravity of Aggregate

يعين هذا الاختبار الوزن النوعي الظاهري للركام الصغير أو الكبير على أساس وزن الركام المشبع ذى السطح الجاف. و **الوزن النوعي الظاهري** للركام الصغير أو الكبير هو ناتج قسمة وزن الركام الجاف على وزن الماء المساوي له فى الحجم (وزن الماء المزاح).

أ- الهدف من الاختبار

١- الوزن النوعى الظاهرى هو الخاصية التى تستخدم – عامة لحساب الحجم الذى يشغله الركـــام فى الخلطات المختلفة المحتوية على ركام و المصممة أو المحللة على أساس الحجم المطلق.

٢- يتعلق الوزن النوعي الظاهري للركام بالكثافة النسبية للمادة الصلبة (الجامدة) المكونة له وغـــير محتوية بداخلها على الفراغات التى يمكن وصول ماء إليها.

ب- الأجهزة المستخدمة:

- ميزان حساس
- فرن تجفيف
- مقياس الكثافة النوعية: قارورة أو مخبار مدرج أو وعاء مناسب يمكن وضع عينة الاختبار به.

جـ- خطوات الاختبار

يكون الركام المستخدم فى هذا الاختبار مغسولاً بالماء، خالياً من الأتربة.

- إجراء الاختبار للركام الصغير

١- تجفف العينة (لا تتعدى ١٠٠جرام) فى فرن مهوي درجة حرارته تتراوح بين ١٠٠-١١٠ درجة مئوية ثم تبرد العينة فى مجفف وتوزن وتعاد عملية التجفيف والتبريد والوزن عدة مرات إلى أن يثبت الوزن وليكن (W1).

٢- يسكب ماء درجة حرارته بين ١٥-٢٥مئوية فى قنينة ذات رقبة مدرجة تدريجاً قياسياً، مثل زجاجة (لوشاتلييه) إلى علامة مناسبة على الجزء المدرج، وتسجل قراءة التدريج ولكن (V1)، ثم يضاف

الركام الصغير (W1) إلى داخل القنيه، ويترك مغموراً لمدة ساعة مع إزالة فقاقيع الهواء الموجودة وذلك بطرق القنيه طرقاً خفيفا وبعد ساعة من إضافة الركام الصغير تسجل القراءة الثانية ولتكن (V_2) فيكون الفرق بين القراءتين هو حجم الركام وليكن (V).

$$V = V_1 - V_2$$

- إجراء الاختبار للركام الكبير

١- تغمر العينة (٢كليو جرام تقريباً) فى ماء درجة حرارته (١٥-٢٥) مئوية لمدة ٢٤ ساعة ثم ترفع ويجفف سطحها.

٢- تصب كمية معلومة الحجم من الماء فى وعاء معلوم السعة وليكن (V_3) إلى ما يقرب من منتصفه ثم تضاف حبيبات الركام إلى الوعاء لتملأ نصفه تقريباً ثم تضاف كمية أخرى من الماء إلى أن يمتلئ الوعاء تماماً ويعين حجم الماء المستعمل جميعه وليكن (V_4).

٣- ترفع العينة من الماء وتجفف فى فرن مهوى درجة حرارته تتراوح بين ١٠٠-١١٠ درجة مئوية ثم تبرد فى مجفف وتوزن وتعاد عملية التجفيف والتبريد والوزن عدة مرات إلى أن يثبت الوزن وليكن (W_2).

د- النتائج:

١- الوزن النوعى الظاهرى للركام الصغير $\rho = \frac{W_1}{V}$

٢- الوزن النوعى الظاهرى للركام الكبير $\rho = \frac{W_2}{V_3 - V_4}$

هـ- حدود القبول والرفض

يرجع إلى جدول (٤-٢٥) للاسترشاد بالحدود المعتادة للوزن النوعي الظاهري.

جدول (٤-٢٥) الوزن النوعى الظاهرى للركام

نوع الركام	حدود الوزن النوعي الظاهري
الرمل والزلط	٢,٥٠ – ٢,٧٥
الحجر الجيرى الصلد	٢,٦٠ – ٢,٧٠
الجرانيت والبازلت	٢,٦٠ – ٢,٨٠

٤-٨-٥ اختبار تعيين الوزن الحجمى والنسبة المئوية للفراغات للركام

Determination of Bulk Density (Volumeteric Weight) And Percentage of Voids for Aggregate

الوزن الحجمى هو ناتج قسمة وزن الركام على الحجم الذى يشغله بما فيه من فراغات.

النسبة المئوية للفراغات هى النسبة بين حجم الفراغات الموجودة بين حبيبات الركام وبين الحجم الكلى الذى يشغله الركام.

أ- الهدف من الاختبار

- يفيد تعيين الوزن الحجمي عند تحويل حجم معين من الركام إلى الوزن المكافئ له أو العكس.
- يمكن حساب النسبة المئوية للفرغات بين حبيبات الركام بمعلومية كل من الوزن الحجمي والوزن النوعي الظاهري للركام.

ب- الأجهزة المستخدمة

- وعاء أسطوانى الشكل ذو سعة ٣٠ لتر للركام الكبير الذى مقاسه أكبر من ٤٠ مم، وسعته ١٥ لتر للمقاس من ٥ إلى ٤٠ مم، للركام الصغير أقل من ٥ مم سعته ٣ لتر.
- ميزان حساس.
- قضيب دمك معدنى.

جـ- خطوات الاختبار

١- تحضر عينة الاختبار بتجزئة العينة الكلية طبقا لطرق أخذ عينات الركام ويجرى الاختبار غالباً على ركام جاف كما يمكن إجراؤه على ركام يحتوى على أى نسبة مئوية من الرطوبة وتحدد حالة الركام وقت إجراء الاختبار.

٢- يتم اختبار الوعاء المناسب حسب المقاس الاعتباري الأكبر للركام وليكن حجمه V_1.

٣- يوزن الوعاء فارغا وجافا ونظيفا وليكن وزنه W_1.

٤- يملأ الوعاء بالركام المدموك أو غير المدموك كما يلى:

أ- **الركام المدموك**: يملأ الوعاء لثلثه بالركام المخلوط خلطا جيداً ويدمك بقضيب الدمك ٢٥ مرة ثم يضاف مقدار آخر مساو له فى الكمية ويدمك ٢٥ مرة أخرى وبعد ذلك يملأ الوعاء لأكثر من سعته ويدمك ٢٥ مرة.

ب- الركام غير المدموك: يملأ الوعاء لأكثر من سعته بواسطة جاروف من ارتفاع لا يزيد على ٥ سنتيمترات أعلى الوعاء ويجب اتخاذ العناية الكافية لمنع انفصال الحبيبات ذات المقاسات المختلفة المكونة لعينة الاختبار.

٥- يزال الركام الزائد عن سعة الوعاء باستعمال قضيب الدمك ومسطرة تسوية.

٦- يعين وزن الوعاء بما فيه من ركام وليكن وزنه W_2.

٧- يكرر الاختبار ثلاث مرات على الأقل ثم يؤخذ متوسط النتائج.

د- النتائج

١- يتم حساب الوزن الحجمي للركام كما يلي:

$$\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V_1}$$

حيث:

γ = الوزن الحجمى للركام.

W_1 = وزن الوعاء فارغاً.

W_2 = وزن الوعاء بما فيه من ركام.

V_1 = حجم الوعاء.

٢- يمكن حساب النسبة المئوية للفراغات بين حبيبات الركام كما يلي:

$$V\% = \frac{\rho * \gamma_w - \gamma}{\rho * \gamma_w}$$

حيث:

$V\%$ = النسبة المئوية للفراغات بين حبيبات الركام

ρ = الوزن النوعى الظاهري لحبيبات الركام كما تم تعيينها فى اختبار تعيين الوزن النوعى الظاهرى.

γ_w = كثافة الماء = ١ طن/م^3

γ = الوزن الحجمي للركام

هـ - حدود القبول والرفض

لا توجد حدود قبول أو رفض لهذا الاختبار حيث أنه لا يعتبر اختبار صلاحية ولكن يجرى بهدف تعيين خاصية من خواص الركام.

٤-٨-٦ اختبار تعيين معامل العصوية للركام الكبير

Elongation Index Of Coarse Aggregate

معامل العصوية: هو النسبة الوزنية للركام الذى يزيد طول حبيباته على ١,٨ مرة المقاس المتوسط وذلك منسوباً إلى وزن عينة الركام الكلي.

أ- الهدف من الاختبار:

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين معامل العصوية للركام الكبير.

ب- الأجهزة المستخدمة:

- مقياس طول معدني كما هو موضح بشكل رقم (٤-١٥)
- مناخل قياسية ذات مقاس (٥٠ ، ٣٧,٥ ، ٢٨ ، ٢٠، ١٤، ١٠ ، ٦,٣ مم)
- ميزان حساس.
- فرن تجفيف.
- مجموعة من الأوعية ذات مقاسات مناسبة يمكن تتحمل الحرارة داخل الفرن بدون خسائر.

جـ- خطوات الاختبار

١- يتم تحضير العينة اللازمة للاختبار باستخدام طريقة التقسيم الربعي حتى تصل إلى عينة اختبار تحقق المتطلبات المبينة بجدول (٤-٢٧) مع استبعاد حبيبات الركام المحجوزة على منخل ٥٠ مم والمارة من منخل ٦,٣ مم.

٢- تجفف الأجزاء المختبرة بالتسخين حتى درجة حرارة ١٠٥ ± ٥ درجة مئوية حتى نصل إلى وزن جاف ثابت. يترك الجزء المختبر حتى يبرد ثم يعين وزنه.

٣- يتم اجراء عملية تحليل بالمناخل لعينة الاختبار مع استخدام المناخل القياسية بالأجهزة المستخدمة.

٤- يتم تعين الوزن الجاف لكل جزء محجوز من العينة على المناخل القياسية عدا المحجوز على منخل ٥٠ مم ثم يوضع كل جزء بوعاء خاص به مع تسجيل المقاس الخاص بكل جزء على الوعاء.

٥- من خلال مجموع الأوزان لكل الأجزاء بالأوعية (M_1) يتم حساب النسبة المئوية للمحجوز على كل منخل ويتم استبعاد أى جزء لا تزيد النسبة المئوية للمحجوز له على ٥% من الوزن الكلى للعينة. ثم يتم تسجيل الوزن المتبقي بعد تلك المرحلة وليكن (M_2).

٦- يتم اختبار طول حبيبات الركام وذلك باختبار طول القياس المناظر لكل مقاس من أجزاء الركـــام المختبر (انظر جدول رقم (٤-٢٨). ثم تختبر كل حبة على حدة يدويا. الحبيبات العصوية هى تلك الحبيبات ذات الطول الذى يمنع مرورها من خلال المقاس.

٧- يتم تجميع كل الحبيبات العصوية ويعين وزنها وليكن (M_3).

د- النتائج

يتم حساب قيمة معامل العصوية (E_1) من العلاقة:

$$E_1 = 100 * M_3/M_2$$

حيث:

M_2 : مجموع أوزان أجزاء العينة التى لها أوزان أكبر من ٥% من وزن عينة الاختبار.

M_3 : وزن جميع الحبيبات العصوية.

ويتم التعبير عن معامل العصوية بأقرب رقم صحيح.

هـ- حدود القبول أو الرفض

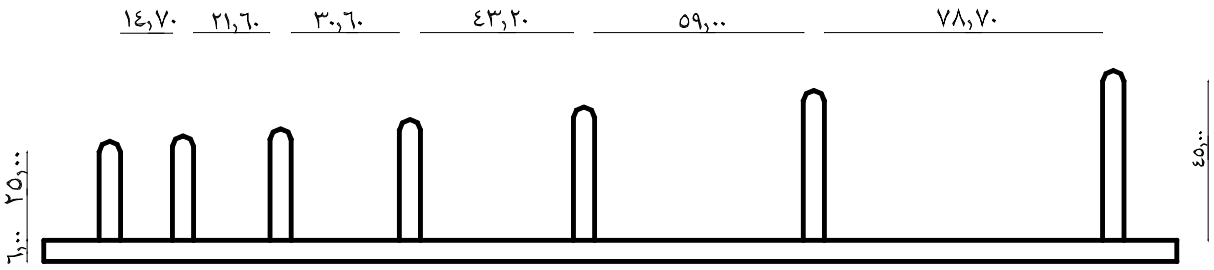
لا يزيد معامل العصوية عن ٢٥%

جدول (٤-٢٧) الحد الأدنى لوزن عينة الاختبار

المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (مم)	أقل وزن للجزء المختبر بعد استبعاد الحبيبات الأكبر والأقل من المقاس المطلوب (كجم)
٤٠	١٥
٢٨	٥
٢٠	٢
١٤	١
١٠	٠,٥

جدول (٤-٢٨) بيانات تعيين معامل العصوية للركام

مقاس حبيبات الركام		المسافة بين المسامير	أقل وزن للجزء المختبر
مناخل الاختبار (مم)		بمقاس الطول* (مم)	(كجم)
١٠٠% مار	١٠٠% محجوز		
٥٠,٠	٣٧,٥	٠,٣ ± ٧٨,٧	٣٥
٣٧,٥	٢٨,٠	٠,٣ ± ٥٩	١٥
٢٨,٠	٢٠,٠	٠,٣ ± ٤٣,٢	٥
٢٠,٠	١٤,٠	٠,٣ ± ٣٠,٦	٢
١٤,٠	١٠,٠	٠,٢ ± ٢١,٦	١
١٠,٠	٦,٣	٠,٢ ± ١٤,٧	٠,٥
* هذا المقاس يساوى ١,٨ مرة من متوسط مقاس المناخل			



شكل (٤-١٥) مقياس العصوية.

٤-٨-٧ اختبار تعيين معامل التفلطح للركام الكبير

Flakiness Index of Coarse Aggregate

معامل التفلطح يعرف بأنه النسبة الوزنية للركام الذى يقل سمك حبيباته عن ٠,٦ من المقاس المتوسط و ذلك منسوباً إلى وزن عينة الركام الكلي.

أ- الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين معامل التفلطح للركام الكبير.

ب- الأجهزة المستخدمة:

- مقاس سمك معدني كما هو موضح بشكل (٤-١٦)
- مناخل قياسية ذات مقاس (٦٣ - ٥٠ - ٣٧,٥ - ٢٨ - ٢٠ - ١٤- ١٠ - ٦,٣) مم.
- ميزان حساس
- فرن تجفيف
- مجموعة من الأوعية ذات مقاسات مناسبة يمكن أن تتحمل الحرارة داخل الفرن بدون خسائر.

جـ- خطوات الاختبار:

١- يتم تحضير العينة اللازمة باستخدام طريقة التقسيم حتى نصل إلى عينة اختبار تحقق المتطلبات المبينة بجدول (٤-٢٩).

٢- يتم تجفيف الأجزاء المختبرة بالتسخين حتى درجة حرارة ١٠٥ ± ٥ درجة مئوية حتى نصل وزن جاف ثابت. يترك الجزء المختبر ليبرد ثم يعين وزنه.

٣- يتم إجراء عملية تحليل بالمناخل لعينة الاختبار مع استخدام المناخل القياسية المبينة بالأجهزة المستخدمة.

٤- يتم تعيين الوزن الجاف لكل جزء من العينة محجوز على المناخل القياسية عدا المحجوز على منخل ٦٣مم. ثم يوضع كل جزء بوعاء خاص به مع تسجيل المقاس الخاص بكل جزء على الوعاء.

٥- من خلال مجموع الأوزان لكل الأجزاء بالأوعية (M1) يتم حساب النسبة المئوية للمحجوز على كل منخل ويتم استبعاد أى جزء لا تزيد النسبة المئوية للمحجوز له عن ٥% من الوزن الكلى للعينة. ثم يتم تسجيل الوزن المتبقى بعد تلك المرحلة وليكن (M2).

٦- يتم اختبار مدى تفلطح حبيبات الركام وذلك باختبار سمك القياس المناظر لكل مقاس من أجـــزاء الركام المختبر (انظر جدول(٤-٣٠). ثم نختبر كل حبة على حدة يدويا. الحبيبات المفلطحة هى تلـــك الحبيبات ذات السمك الذى يسمح بمرورها من خلال الفتحة المناسبة لمقاسها من مقياس التفلطح.
٧- يتم تجميع جميع الحبيبات المفلطحة وعين وزنها وليكن (M_3).

د- النتائج

يتم حساب قيمة دلالة التفلطح (FI) من العلاقة:

$$FI = 100 * M_3/M_2$$

حيث:

M_2: مجموع أوزان أجزاء العينة التى لها أوزان أكبر من ٥ % من وزن عينة الاختبار.

M_3: وزن جميع الحبيبات المفلطحة.

ويتم التعبير عن معامل التفلطح بأقرب رقم صحيح.

هـ- حدود القبول والرفض

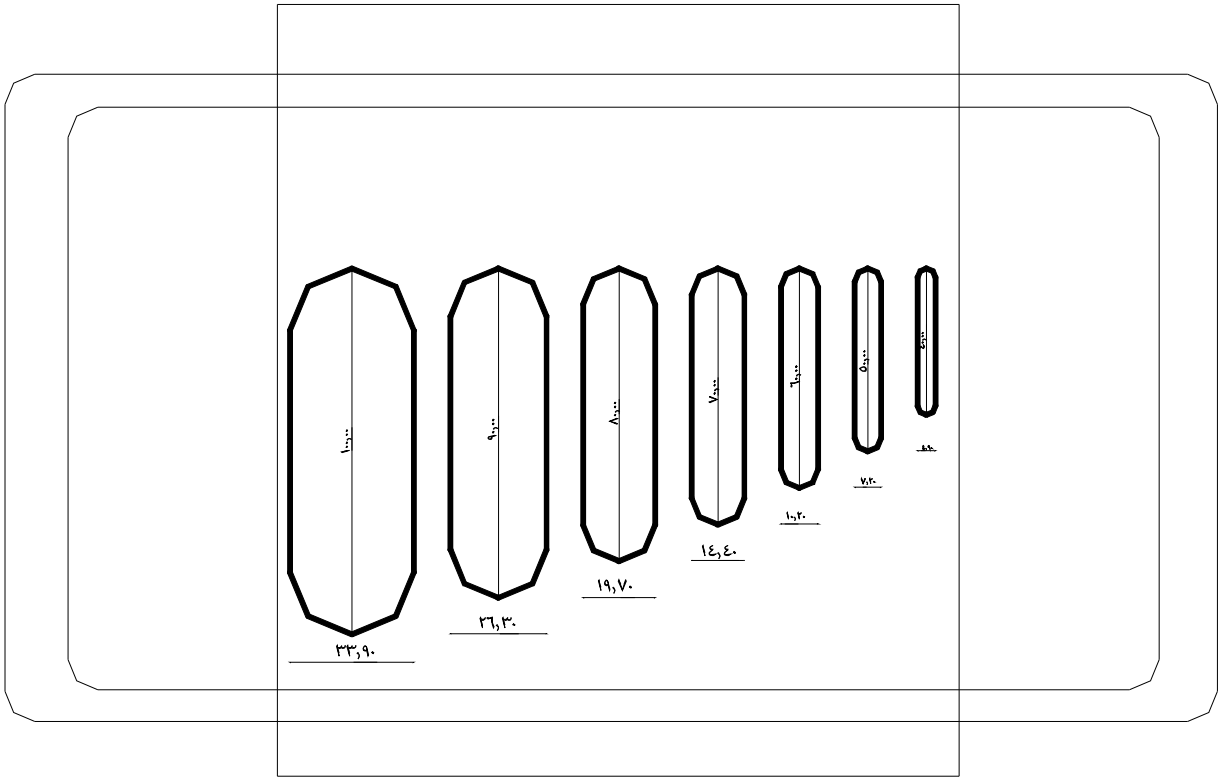
لا يزيد معامل التفلطح عن ٢٥%

جدول (٤-٢٩) الحد الأدنى لوزن عينة الاختبار

المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (مم)	أقل وزن للجزء المختبر بعد استبعاد الحبيبات الأكبر والأقل من المقاس المطلوب (كجم)
٥٠	٣٥
٤٠	١٥
٢٨	٥
٢٠	٢
١٤	١
١٠	٠,٥

جدول (٤-٣٠) بيانات تعيين معامل التفلطح للركام

مقاس حبيبات الركام		عرض الفتحة بمقياس التفلطح (مم)	أقل وزن للجزء المختبر(كجم)
مناخل الاختبار (مم)			
١٠٠% مار	١٠٠% محجوز		
٦٣,٠	٥٠,٠	٠,٣ ± ٣٣,٩	٥٠
٥٠,٠	٣٧,٥	٠,٣ ± ٢٦,٣	٣٥
٣٧,٥	٢٨,٠	٠,٣ ± ١٩,٧	١٥
٢٨,٠	٢٠,٠	٠,١٥ ± ١٤,٤	٥
٢٠,٠	١٤,٠	٠,١٥ ± ١٠,٢	٢
١٤,٠	١٠,٠	٠,١ ± ٧,٢	١
١٠,٠	٦,٣	٠,١ ± ٤,٩	٠,٥



شكل (٤-١٦) مقياس التفلطح

٤-٨-٨ اختبار تعيين الزيادة الحجمية للركم الصغير

Determination of the Bulking of Fine Aggregates

الزيادة الحجمية للركام الصغيرة: إذا أضيف الماء إلى الركام الصغير أو كان رطباً أساساً فإن طبقة رقيقة من الماء تغلف حبيبات الركام وتدفع الحبيبات بعيداً عن بعضها البعض نتيجة لتأثير ظاهرة الشد السطحى وبذلك يزيد حجم الرمل.

أ- الهدف من الاختبار:

- توضيح أن وجود رطوبة بالرمل الجاف ثم تقليبه تعمل على زيادة حجمه.
- بيان كمية الزيادة العظمى فى الحجم ونسبة الماء المناظرة لهذه الزيادة.
- توقيع منحنى يبين العلاقة بين النسبة المئوية للماء المضاف والزيادة المقابلة فى حجم الرمل.

ب- الأجهزة المستخدمة:

- وعاء اسطواني نحاسي سعته ١ لتر.
- عدد ٢ مخبار مدرج زجاجي سعة ١ لتر.
- لوح غير مسامي.
- ميزان حساس.

جـ- خطوات الاختبار:

١- يتم وزن ٢٠٠٠ جرام من الرمل الجاف مجهزة طبقا لطرق أخذ عينات الاختبار.

٢- يملأ الوعاء بالرمل الجاف ويكبس جزئيا ثم يعين وزن الرمل الجاف.

٣- يسكب الرمل من الوعاء على اللوح غير المسامى ويضاف إليه الماء بمقدار ١% من وزن الرمل الجاف.

٤- يقلب الرمل جيدا حتى يصبح متجانسا.

٥- يعاد ملء الوعاء بالرمل الرطب ويكبس جزئيا بنفس الطريقة عندما كان الرمل جافا ويسوى سطح الرمل ويوضع الرمل الزائد فى مخبار مدرج ويعين حجم هذه الزيادة.

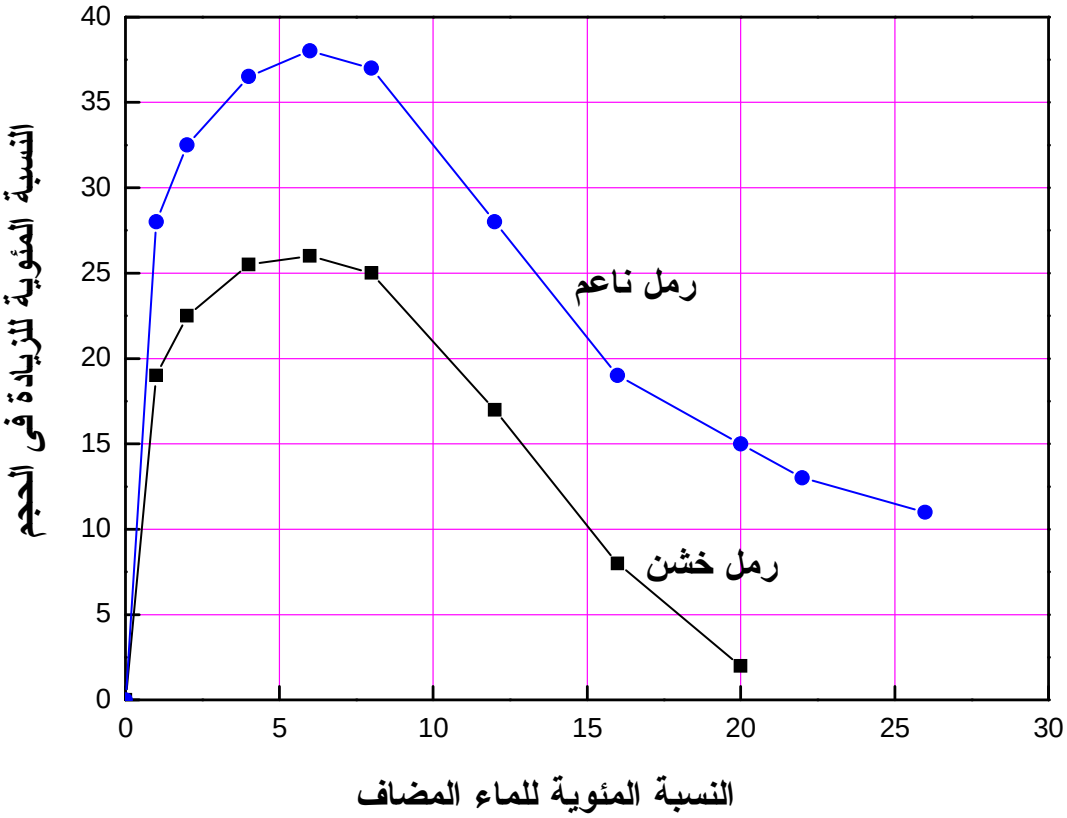
٦- تكرر هذه العملية على أن تكون النسب المئوية للماء المضاف كما يلى: ٢ - ٤ - ٦ - ٨ - ١٠ -١٢ -١٦ -٢٠ - ٢٢ -٢٤ - ٢٦ على التوالي.

٧- يجب مراعاة عدم فقد أى جزء من عينة الاختبار أثناء إضافة الماء والتقليب.

د- النتائج:

أ- تدون نتائج الاختبار فى جدول يبين به النسبة المئوية للماء المضاف والزيادة المناظرة فى حجم الرمل.

ب- يرسم المنحنى البيانى الذى يبين العلاقة بين النسبة المئوية للزيادة فى الحجم والنسبة المئوية للماء المضاف كما هو مبين بالشكل (٤- ١٧)



شكل (٤-١٧) تأثير الماء على الزيادة الحجمية للرمل

٤-٨-٩ اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام بالوزن

Determination of Clay and other Fine Materials in Aggregates by Weight

الطين والمواد الناعمة: هى أي مواد تمر من المنخل القياسي٧٥ ميكرون.

الهدف من الاختبار

يعطى هذا الاختبار قيمة تقريبية لنسبة الطين والمواد الناعمة فى الركام بالوزن.

ب- الأجهزة المستخدمة:

- وعاء مقاوم للصدأ ذو مقاس وحجم يسمح بتقليب العينة المختبرة دون فقد للركام أو الماء.
- المنخلان القياسيان مقاس ٧٥ ميكرون ومقاس ١٤١ ميكرون.
- فرن تجفيف
- ميزان حساس

جـ- خطوات الاختبار

١- فى حالة الركام الصغير تؤخذ عينة لا يقل وزنها عن ٢٥٠ جم وفى حالة الركام الكبير أو الشامل يكون وزن عينة الاختبار كما هو مبين بالجدول (٤-٣١)

٢- يتم تجفيف عينة الاختبار فى الفرن حتى (١١٠ ± ٥) درجة مئوية حتى يثبت وزنها وليكن A

٣- تغمر العينة بالماء ثم تقلب بشدة.

٤- يتم إزالة المواد الطينية والناعمة عن طريق سكب ماء الغسيل مباشرة فوق المنخلين مقاس ٧٥ ميكرون، ومقاس ١٤١ ميكرون بحيث يكون المنخل مقاس ١٤١ ميكرون هو الأعلى.

٥- تكرر الخطوات السابقة على نفس العينة حتى يصبح ماء الغسيل رائقا تماما.

٦- تعاد المواد المحجوزة على المنخلين إلى العينة المغسولة بالوعاء.

٧- تجفيف العينة بالمواد المعادة فى الفرن حتى (١١٠± ٥) درجة مئوية حتى يثبت وزنها وليكن B

د- النتائج :

تحسب النسبة المئوية بالوزن للطين والمواد الناعمة بالركام (F%) من العلاقة.

$$F\% = \frac{A - B}{A} * 100$$

هـ- حدود القبول والرفض

يجب ألا تتعدى النسبة المئوية بالوزن للطين والمواد الناعمة القيم المذكورة بالجدول (٤-٣٢).

جدول (٤-٣١) أوزان عينة اختبار نسبة الطين والمواد الناعمة الأخرى بطريقة النخل.

المقاس الاعتبارى الأكبر للركام (مم)	أقل وزن لعينة الاختبار
٩,٥ – ٤,٧٥	٥ كجم
١٩,٠ – ٩,٥	١٥ كجم
٣٧,٥ – ١٩,٠	٢٥ كجم
> ٣٧,٥	٥٠ كجم

جدول (٤-٣٢) حدود النسبة المئوية للمواد الناعمة بالركام

نوع الركام	الحد الأقصى لنسبة الطين والمواد الناعمة بالوزن ٪
رمل	٣
رمل ناعم من كسر الحجارة	٥
الركام الكبير من الزلط أو كسر الزلط	١
الركام الكبير من كسر الحجارة	٣

٤-٨-١٠ اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالركام الصغير بالحجم

Determination of Clay and other Fine Materials in Fine Aggregates by Volume

أ- الهدف من الاختبار

يعطى هذا الاختبار قيمة تقريبية لنسبة الطين والمواد الناعمة بالركام الصغير بالحجم.
و يجرى هذا الاختبار عادة بموقع العمل ولا يطبق على ناعم كسر الحجارة.

ب- الأجهزة المستخدمة

مخبار مدرج سعته ٢٥٠ سنتيمترا مكعباً.

جـ- خطوات الاختبار

١- تؤخذ عينة وزنها حوالى ١٠٠ جرام.
٢- يوضع ٥٠ سنتيمترا مكعبا من الماء النقي فى المخبار المدرج.
٣- تضاف كمية من عينة الركام الصغير تدريجياً حتى يصير الحجم الكلى ١٠٠ سنتيمتراً مكعباً.
٤- يضاف ماء نقي حتى يصير الحجم الكلي ١٥٠ سنتيمتراً مكعباً.
٥- يرج المخلوط بشدة لعمل معلق من حبيبات الطين والمواد الناعمة.
٦- يوضع المخبار على سطح أفقى مستو ويطرق طرقاً خفيفاً على جدار المخبار لجعل طبقة الركام الصغير مستوية السطح ويترك لمدة ٣ ساعات.

د- النتائج

تحسب النسبة المئوية بالحجم لكمية المواد الناعمة بالركام الصغير بحساب النسبة بين ارتفاع الطبقة المترسبة فوق سطح الركام الصغير و ارتفاع الركام الصغير أسفل الطبقة المترسبة.

هـ- حدود القبول والرفض

يجب الا تزيد النسبة المئوية بالحجم لكمية الطين والمواد الناعمة بالرمل الطبيعى عن ٣ % ورمل ،كسر الأحجار عن ٥%. وفى حالة تجاوز هذه النسبة يتم إجراء اختبار تعيين نسبة الطين والمواد الناعمة بالوزن بالمعمل على ألا تتجاوز هذه النسبة الحدود المبينة بهذا الاختبار.

٤-٨-١١ اختبار معامل التهشيم للركام الكبير

Determination of Crushing Value of Coarse Aggregate

معامل التهشيم هو النسبة المئوية المارة بالوزن من المنخل القياسى ٢,٣٦ مم وذلك بعد تعريض عينة الاختبار لحمل ضغط تدريجى قدرة ٤٠٠ كيلو نيوتن (حوالي ٤٠ طن).

أ- الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار لتعيين مقاومة الركام الكبير والتى تعطي مقياسا نسبياً لمدى مقاومة الركام الكبير للتهشيم تحت تأثير حمل ضغط تدريجى ، وهى خاصية هامة للركام المستخدم فى الخرسانة المعرضة للتآكل. والاختبار قابل للتطبيق على حبيبات الركام الكبير التى تمر من المنخل القياسى ١٤مم والمحجوزة على لمنخل القياسى ١٠مم.

ب- الأجهزة المستخدمة

- مكيال أسطوانى معدنى قطره الداخلى ١٢٠مم وارتفاعه الداخلى ١٨٠مم ويراعى أن يكون هذا المكيال ذا صلابة كافية تمكنه من الاحتفاظ بشكله تحت ظروف الاستعمال.
- قضيب معدنى مستقيم للدمك قطاعه مستدير بقطر ١٥مم وطوله ٦٠٠ مم بطرف مدبب.
- أسطوانة من الصلب مفتوحة الطرفين لها مكبس وقاعدة من الصلب كما هو مبين بالشكل (٤-١٨).
- المناخل القياسية ذات فتحات مربعة مقاسات ١٤مم، ١٠مم، ٢,٣٦مم.
- فرن مهوى حرارته ١٠٠ – ١١٠ درجة مئوية.
- ماكينة اختبار للضغط. – مطرقة مطاط.
- صينية معدنية ذات وزن معلوم بحيث تكفى ٣ كجم من الركام.
- فرشاة من السلك. – ميزان حساس.

جـ- عينة الاختبار المختبرة:

تحضر عينة الركام المستخدمة فى الاختبار كما يلي:

١- تنخل كمية من الركام على المنخلين القياسيين ١٤مم و ١٠مم على التعاقب.

٢- يستعمل فى إجراء الاختبار الركام المار من المنخل القياسى ١٤مم والمحجوز على المنخل القياسى ١٠مم، يملأ المكيال إلى ثلثه بالركام المذكور ويدمك بقضيب الدمك ٢٥ مرة ثم توضع كمية

أخرى مماثلة من الركام وتدمك ٢٥ مرة أخرى ثم يملأ المكيال لمستوى أعلى من سطحه ويدمك ٢٥ مرة ثم يزال الركام الزائد عن سعة المكيال بتسوية سطحه بقضيب الدمك وتكون كمية الركام التى يحتويها المكيال حينئذ هى عينة الاختبار.

٣- تجفف عينة الاختبار بوضعها غى الصينية المعدنية داخل الفرن المهوى درجة حرارته ١٠٠-١١٠ درجة مئوية لمدة أربع ساعات ثم يبرد الركام.

٤- تجهيز عينة أخرى من الركام باتباع الخطوات السابقة.

د- خطوات الاختبار

١- توضع الأسطوانة الصلب المفتوحة فى مكانها على القاعدة.

٢- توضع عينة الاختبار فى الأسطوانة الصلب على ثلاث دفعات متساوية تقريباً وتدمك كل دفعة ٢٥ مرة بواسطة قضيب الدمك ثم يسوى سطح الركام فى الأسطوانة ويوضع فوقها المكبس الصلب ويراعى عدم حشر المكبس فى الأسطوانة.

٣- توضع الأسطوانة والقاعدة والمكبس فى مكنة اختبار الضغط ثم يحمل المكبس تدريجياً بمعدل منتظم حتى يصل حمل الضغط إلى ٤٠٠ كيلو نيوتن فى مدة ١٠ دقائق ثم يرفع الحمل بعد ذلك.

٤- يفرغ الركام من الاسطوانة فى الصينية المعدنية باستخدام المطرقة المطاط والفرشاة السلك لتنظيف الأسطح الداخلية للأسطوانة وتوزن العينة لأقرب جرام وليكن وزنها (**M1**)، ثم تنخل العينة على المنخل القياسى ٢,٣٦ مم ويعين وزن الركام المحجوز على المنخل والركام المار من المنخل لأقرب جرام ولتكن الأوزان (**M2**) و (**M3**) على التوالى، إذا كان مجموع الوزنين (**M2**) و (**M3**) يختلف عن وزن العينة الكلى (**M1**) بأكثر من ١٠ جرام ترفض العينة ويعاد الاختبار على عينة أخرى.

٥- يعاد الاختبار على عينة أخرى من الركام باتباع الخطوات السابقة.

هـ- النتائج

١- يحسب لكل اختبار من الاختبارين معامل التهشيم للركام الكبير(**ACV**) كما يلى:

$$ACV = (M3 \times 100) / M1$$

حيث:

ACV = معامل التهشيم للركام.

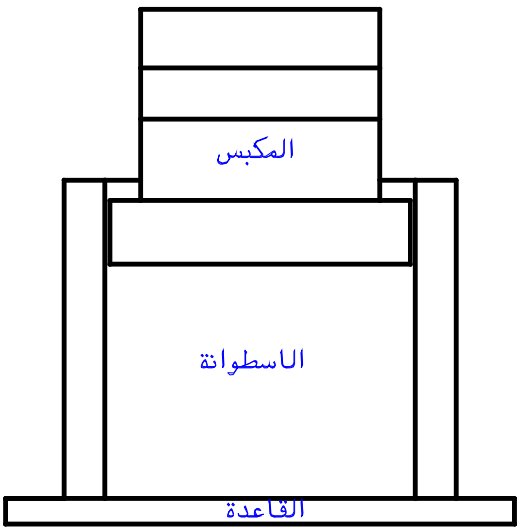
M3 = وزن عينة الركام المارة من منخل ٢,٣٦ مم.

M1 = وزن عينة الركام المستخدمة فى الاختبار.

٢- يجب أن يكون الفرق بين النتيجتين أقل من ٧% من متوسط النتيجتين، أما فى حالة إذا كان الفرق بين النتيجتين أكبر من ٧% من المتوسط يجب أن يعاد الاختبار مرة أخرى على عينتين جديدتين ثم يحسب متوسط الأربع نتائج.

و- حدود القبول والرفض

الاستخدام	معامل التهشيم (٪)
الركام المستعمل فى الخرسانة التى لا تتعرض أسطحها للتآكل	لا يتعدى ٣٠
الركام المستعمل فى الخرسانة التى تتعرض أسطحها للتآكل مثل ممرات المطارات والطرق	لا يتعدى ٢٥



شكل (٤-١٨) الأسطوانة المعدنية والقاعدة والمكبس.

٤-٨-١٢ اختبار تعيين مقاومة الركام الكبير للبرى بجهاز لوس أنجلس

Determination of Abrasion Resistance of Coarse Aggregates in Los Angeles Machine

معامل البرى هو النسبة المئوية للفاقد فى الوزن نتيجة البري فى جهاز لوس أنجلس.

أ- الهدف من الاختبار

يعبر عن مقاومة الركام الكبير للبري بالنسبة المئوية بالوزن للفاقد بالبري بعد تعريض الركام للبري باستخدام جهاز لوس أنجلس.

ب- الأجهزة المستخدمة:

- جهاز لوس أنجلس للبرى – موضح بالشكل (٤-١٩)
- المناخل القياسية مقاس ١٦مم ومقاس ١,٧مم.
- كرات البري من الحديد الزهر أو الصلب بقطر حوالى ٤٨مم ووزن الكرة الواحدة حوالي ٤٠٠ جرام.
- ميزان حساس. – فرن تجفيف.

جـ- العينات المختبرة:

- تغسل عينة الركام الكبير (٥-١٠) كجم بالماء ثم تجفف فى فرن درجة حرارته ١٠٥-١١٠ درجة مئوية حتى يثبت الوزن.
- يفصل الركام إلى مقاسات مختلفة عن طريق النخل على المناخل الموضحة بجدول (٤-٣٣).
- يتم إعادة تجميع عينة الاختبار من الركام بخلط الأوزان التى يمكن تجميعها طبقا للقيم الموضحة بجدول(٤-٣٣).

د- خطوات الاختبار

١- توزن عينة الاختبار بعد إعادة خلطها وليكن وزنها (W1) ويحدد نوع تدرج هذه العينة من الجدول(٤-٣٣).

٢- يتم تحديد عدد كرات البري طبقاً لنوع تدرج العينة من الجدول (٤-٣٤).

٣- توضع العينة وكرات البري داخل مكنة لوس أنجلس وتدار المكنة بسرعة ١٠-٣١ دورة فى الدقيقة بحيث يكون عدد الدورات الكلية ٥٠٠ لكل من تدرجات العينات أ، ب، ج ، د وألف دورة لكل من تدرجات العيينات هـ ، و ، ز.

٤- يرفع الركام من المكنة وينخل على منخل مقاس ١٦مم ثم ينخل المار من هذا المنخل على المنخل القياسى مقاس ١,٧ مم.

٥- يؤخذ الركام الكلي المحجوز على المنخلين السابقين ويغسل جيداً بالماء للتخلص من المواد الناعمة الملتصقة بالسطح ثم يجفف فى فرن ١٠٥-١١٠ درجة مئوية حتى ثبوت الوزن وليكن (W2).

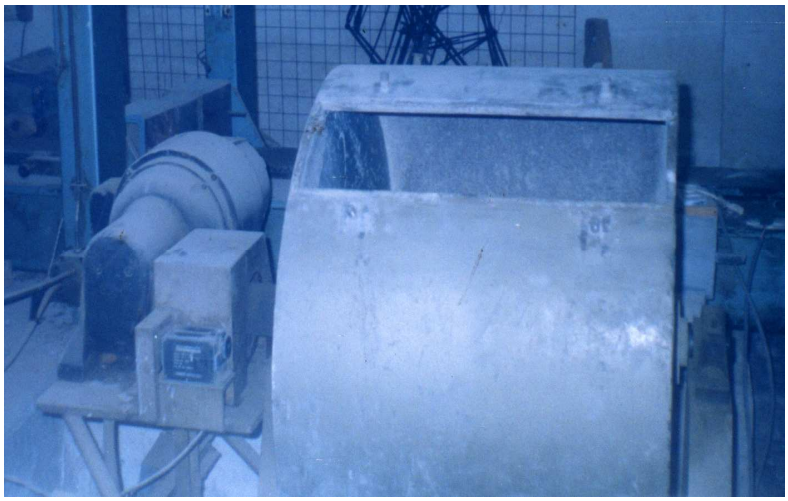
هـ- النتائج

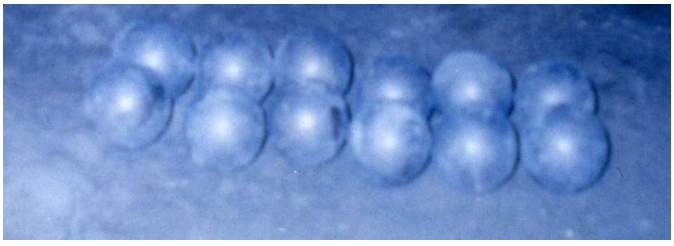
تحسب قيمة النسبة المئوية للبرى (Ab).

$$Ab = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

و- حدود القبول أو الرفض

يجب ألا تتعدى قيمة البري باستخدام مكنة لوس أنجلس ٢٠% للزلط و ٣٠% لكسر الأحجار.





صورة جهاز لوس أنجلس والكرات الحديدية

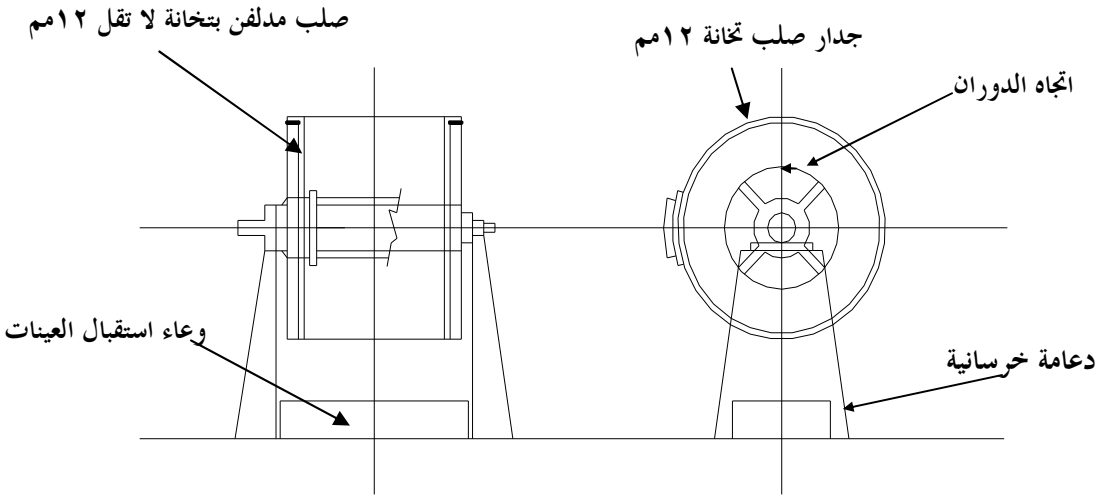
جدول (٤-٣٣) تجميع عينة الاختبار بعد النخل

فتحة المنخل		تجميع وزن عينة الاختبار تبعا لنوع التدرج (جرام)						
المار من	**المحجوز على**	أ	ب	ج	د	هـ	و	ز
٧٥,٠٠	٦٣,٠٠	--	--	--	--	١٥٠٠	--	--
٦٣,٠٠	٥٠,٠٠	--	--	--	--	١٥٠٠	--	--
٥٠,٠٠	٣٧,٥	--	--	--	--	١٥٠٠	٥٠٠٠	--
٣٧,٥	٢٥,٠٠	١٢٥٠	--	--	--	--	٥٠٠٠	٥٠٠٠
٢٥,٠٠	١٩,٠٠	١٢٥٠	--	--	--	--	--	٥٠٠٠
١٩,٠٠	١٢,٥	١١٥٠	١٥٠٠	--	--	--	--	--
١٢,٥	٩,٥	١١٥٠	١٥٠٠	--	--	--	--	--
٩,٥	٦,٣	--	--	١٥٠٠	--	--	--	--
٦,٣	٤,٧٥	--	--	١٥٠٠	--	--	--	--
٤,٧٥	٢,٣٨	--	--	--	٥٠٠٠	--	--	--

٥٠٠ دورة ← ١٠٠٠ دورة

جدول (٤-٣٤) تحديد عدد كرات البري

نوع التدرج طبقا للجدول السابق	عدد الكرات
أ	١٣
ب	١١
ج	٨
د	٦
هـ	١١
و	١١
ز	١١



شكل (٤-١٩) ماكينة لوس أنجلس للبري

٤-٨-١٣ اختبار تعيين معامل الصدم للركام الكبير (اختبار متانة الركام)

Determinaion of Aggregate Impact Value

- **متانة حبيبات الركام** هى مقاومة الركام للانهيار بتأثير الصدم.
- **عامل الصدم** للركام هو النسبة المئوية بالوزن المارة من المنخل القياسى ٢,٣٦ مم وذلك بعد تعريض الاختبار للصدم من ثقل ساقط رأسيا على سطح العينة.

أ- الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى تعيين معامل الصدم للركام، الذى يعطي مقياساً نسبياً لمقاومة حبيبات الركام للصدم.

ب- الأجهزة المستخدمة

- جهاز صدم كما هو مبين بالشكل رقم (٢-٢٠).
- المناخل القياسية ذات الفتحات ١٤، ١٠ ، ٢,٣٦ مم.
- مكيال اسطوانى معدنى قطره الداخلى ٧٥ ± ١ مم وارتفاعه الداخلي ٥٠ ± ١مم.
- قضيب معدنى مستقيم للدمك.
- ميزان حساس.
- فرن جيد التهوية يمكن تحديد درجة حرارته عند ١٠٥ ± ٥ درجة مئوية.
- إناء معدني ذو وزن معلوم وحجم يتسع لكيلو جرام واحد من الركام.

جـ- العينات المختبرة

تحضر عينة الركام طبقاً لإختبار أخذ العينات وذلك حتى تنتج عينة ركام كلية ذات وزن يكفي لثلاث عينات مقاسات تتراوح مقاسات حبيباتها بين ١٤مم و ١٠مم. ويمكن الاسترشاد بالجدول (٤-٣٥).

١- عينات الاختبار فى الحالة الجافة

- ينخل الركام الجاف على المنخلين القياسيين مقاسى ١٤مم و١٠مم للتخلص من مقاسات الركام الأكبر والأصغر من المقاسات المطلوبة. ثم تقسم الكمية الناتجة ثلاثة أقسام للحصول على ثلاث عينات اختبار بأوزان مناسبة لملء المكيال المعدني المذكور فى الأجهزة المستخدمة وبالطريقة المشروحة فى الخطوة التالية.
- تجفف عينات الاختبار بالتسخين حتى درجة حرارة ١٠٥ + ٥ درجة مئوية لا تزيد عن ٤ ساعات، ثم تبرد العينات فى درجة حرارة الغرفة قبل إجراء الاختبار.
- يملأ المكيال المعدنى بركام عينة الاختبار بواسطة مغرفة حتى يفيض. يدمكك الركام ٢٥ دمكة بالطرف المستدير من قضيب الدمك بحيث يسقط قضيب الدمك كل مرة من ارتفاع حوالى ٥٠مم فوق سطح الركام وبحيث تكون الدمكات الموزعة بالتساوى فوق سطح الركام. يزال الركام الزائد ويسوى السطح جيداً. يسجل الوزن الصافي للركام فى المكيال ويستخدم نفس هذا الوزن للعينة الثانية.

٢- عينات الاختبار فى الحالة الرطبة

- تجهز عينة الاختبار الكلية ولكن بحالتها الموردة بها وليست بالحالة الجافة ثم تقسم وتوضع كل عينة فى سلة من السلك وتغمر فى وعاء محكم به ماء. يدمك الركام وهو مغمور فى الماء ٢٥ دمكة بمعدل مرة كل ثانية ويظل مغموراً لمدة ٢٤ ± ٢ ساعة مع الاحتفاظ بدرجة حرارة الماء عند ٢٠ ± ٥ درجة مئوية.
- ترفع السلة من الماء وتزال منها عينة الركام ويجفف سطح حبيبات الركام ثم يجرى الاختبار مباشرة.

د- خطوات الاختبار

١- اختبار العينات فى الحالة الجافة

١- توضع مكنة الصدم على القاعدة و يثبت الوعاء فى مكانه على قاعدة جهاز الاختبار وتوضع به عينة الاختبار وتدمك ٢٥ مرة بقضيب الدمك. يرفع الثقل بحيث تكون المسافة بين سطحه السفلى والسطح العلوى للركام الموجود فى الوعاء ٣٨٠ ± ٥ مم ثم يترك ليسقط حرا تحت تأثير وزنه على الركام وتكرر عملية الصدم المذكور بحيث يكون العدد الكلى للصدمات ١٥ مرة على ألا تقل الفترة بين كل صدمة وأخرى عن ثانية.

٢- يرفع الوعاء ويفرغ الركام بالطرق ويوضع فى إناء معدني. ويوزن الإناء والركام ويحدد وزن الركام وليكن "M_1".

٣- تنخل العينة على المنخل القياسى ٢,٣٦ مم ثم يعين وزن الركام المار من والمحجوز على هذا المنخل. وليكن وزنه " M_2" و " M_3 " على التوالي وإذا كان مجموع الوزن المار والوزن المحجوز "$M_2 + M_3$" يختلف عن الوزن الكلي لعينة الركام "M_1" بأكثر من واحد جرام فتلغى هذه النتيجة ويكرر الاختبار بعينة أخرى.

٢- اختبار العينات فى الحالة الرطبة

١- تتبع نفس الإجراءات المبينة فى اختبار العينات فى الحالة الجافة إلا أن العدد الكلى للصدمات التى تعرض لها عينة الركام يكون هو العدد اللازم لإنتاج ما بين ٥ -٢٠% من المواد الناعمة.

٢- تزال عينة الركام المهشمة من الوعاء وتجفف فى فرن حتى درجة حرارة ١٠٥ ± ٥ درجة مئوية وحتى يثبت وزنها أو لمدة لا تقل عن ١٢ ساعة. تبرد العينات ثم توزن لأقرب جرام وليكن وزنها " M_1 ". تستكمل الخطوات كما هو مبين فى اختبار العينات فى الحالة الجافة وذلك بداية من نخل العينة على منخل ٢,٣٦مم.

هـ- النتائج

الركام فى حالة الجافة

تحسب قيمة معامل الصدم كنسبة مئوية ولأول رقم عشرى لعينات الاختبار من المعادلة الآتية:

$$AIV = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

حيث:

AIV = معامل الصدم للركام

M_1 = وزن العينة (جم)

M_2 = وزن الركام المار من منخل ٢,٣٦ مم (جم).

الركام فى الحالة الرطبة

يحسب وزن المواد الناعمة m كنسبة مئوية من الوزن الكلى لكل عينة اختبار من المعادلة الآتية:

$$m = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

حيث:

M_1 = وزن العينة الجافة (جم)

M_2 = وزن الركام الجاف المار من منخل ٢,٣٦مم (جم)

تحسب قيمة معامل الصدم كنسبة مئوية ولأول رقم عشري لعينات الاختبار من المعادلة الآتية:

$$AIV = \frac{15\ m}{n}$$

حيث :

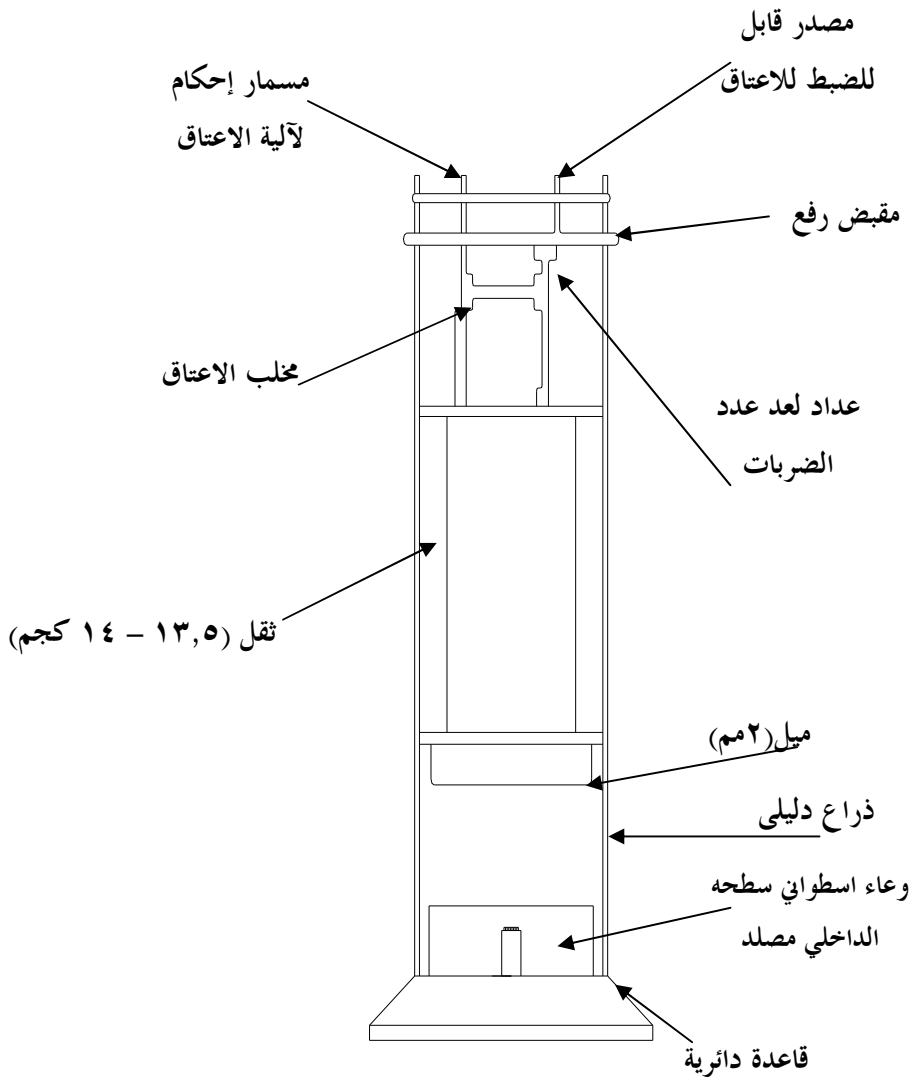
n عدد الصدمات التى تعرضت لها العينة.

و- حدود القبول والرفض

- لا تتعدى قيمة معامل الصدم للركام الكبير ٤٥% بالوزن وذلك كركام مستخدم فى الخرسانة التى لا تتعرض أسطحها للتآكل.
- لا تتعدى قيمة معامل الصدم للركام الكبير ٣٠% وذلك كركام مستخدم فى الخرسانة التى تتعرض أسطحها للتآكل مثل ممرات المطارات والطرق.

جدول (٤-٣٥) دليل استرشادي لأقل وزن لعينات الركام لاختبار تحديد عامل الصدم.

مقاس الركام (مم)	أقل وزن لعينة الاختبار الكلية (كجم)
ركام شامل مقاس اعتبارى أكبر ٤٠	٢٠
ركام شامل مقاس اعتبارى أكبر ٢٠	١٥
ركام مدرج من ٤٠ إلى ٥	١٢
ركام مدرج من ٢٠ إلى ٥	٨
ركام مدرج من ١٤ إلى ٥	٥



شكل (٤-٢٢) ماكينة اختبار الصدم للركام

٤-٨-١٤ تعيين تأثير الشوائب العضوية فى الركام الصغير على مقاومة الضغط
Determination of the Effect of Organic Impurities on The strength of Mortar

أ- الهدف من الاختبار

يهدف هذا الاختبار إلى تحديد تأثير الشوائب العضوية فى الركام الصغير على مقاومة المونة. ويكون ذلك بعمل مقارنة بين الضغط بعد ٧ أيام لمونة من ركام صغير مغسول وأخرى من ركام صغير غير مغسول. حيث أنه ترجع أهمية هذا الاختبار إلى أنه يساعد على قبول أو رفض الركام الصغير للاستخدام غـــى الخرسانة.

ب- الأجهزة المستخدمة

- مائدة الانسياب وقالب الانسياب.
- قوالب مكعبة (٥٠مم) وقضيب دمك.
- ماكينة اختبار الضغط.

جـ- العينات المختبرة:

- أسمنت بورتلاندى عادي يوفى حدود الموصفات القياسية المصرية.
- محلول ٣% هيدروكسيد الصوديوم ويحضر بإذابة ٣ أجزاء بالوزن من هيدروكسيد الصوديوم فى ٩٧ جزء من الماء.
- تحضير عينة الركام الصغير لهذا الاختبار من نفس العينة المحضرة باختبار تعيين تواجـــد الـــشوائب العضوية بالركام. ويستخدم الركام الصغير إما بحالته وبما يحتويه من مواد عضوية تجعل لون المحلول فوق الرمل أغمق من المحلول القياسي. وإما بعد غسله أولاً فى محلول هيدروكسيد الصوديوم بتركيز ٣% ثم شطفه بالماء شطفاً جيداً. تكرر هذه العملية عددا كافياً من المرات حتى يصبح لون المحلول أفتح من لون المحلول القياسي.

د- خطوات الاختبار:

١- تحضر ثلاث خلطات من المونة باستخدام الركام الصغير المغـــسول فى محلـــول هيدروكـــسيد الصوديوم وثلاث خلطات أخرى من الركام الصغير غير المغسول ويكون ذلك بالتبادل وفى نفـــس اليوم. كما تحضر ثلاثة مكعبات من كل خلطة.

٢-تجهيز المونة

- تصمم خلطة المونة بحيث تعطي قواما ١٠٠ ± ٥% بطريقة مائدة الانسياب.
- تستخدم نسبة ماء إلى أسمنت ٠,٦ بالوزن وعادة فإن ٦٠٠جم من الأسمنت و ٣٦٠سم^{3} من الماء تكون مناسبة لعمل عدد ٦ قوالب مونة.
- يستخدم الركام الصغير بحيث يكون حالة جافة ذات سطح مشبع ما بطريقة اختبار تعيين النسبة المئوية للامتصاص وذلك بالإضافة كمية الماء المحددة فى هذا الاختبار إلى وزن الركام الصغير ثم التقليب الجيد وترك العينة فى إناء مغلق لمدة نصف ساعة قبل الاستخدام.
- تخلط المكونات فى الخلاط الميكانيكى، حيث توضع كمية الماء أولا ثم يضاف الأسمنت ويدار الخلاط بسرعة بطيئة (١٤٠ ± ٥ لفة فى الدقيقة) لمدة ٣٠ ثانية. تضاف كمية الركام الصغير التى من المتوقع أن تعطي القوام المطلوب أثناء دوران الخلاط بنفس السرعة ويحدد وزن الركام المستخدم بطرح وزن الكمية المتبقية من وزن عينة الركام الكلية.

٣- اختبار الانسياب لضبط قوام المونة:

- ينظف سطح مائدة الانسياب جيدا ويوضع قالب الانسياب فى منتصفها. بعد خلط المونة مباشرة توضع طبقة بسمك ٢٥مم فى قالب الانسياب وتدمك ٢٠ دمكة بقضيب الدمك. ثم يملأ القالب بالمونة ويدمك ٢٠ دمكة أخرى. مع تسوية سطح المونة بواسطة المسطرين.
- يرفع قالب الانسياب ويكون ذلك بعد دقيقة من اتمام عملية الخلط.
- ترفع وتخفض مائدة الانسياب ارتفاع ١٢,٧مم عشر مرات خلال ٦ ثوان. يكون الانسياب هو الزيادة الناتجة فى القطر المتوسط لكتلة المونة مقاساً فى أربعة اتجاهات متعامدة على الأقل ويعبر عنه كنسبة من القطر الأصلى.
- إذا كان الانسياب كبيراً فإن خلطة المونة تعاد إلى الخلاط وتزود بكمية من الركام الصغير الإضافى وذلك للحصول على انسياب ١٠٠ ± ٥%.
- تحدد كمية الركام الصغير المستخدمة بطرح وزن الركام المتبقى بعد الخلط من وزن عينة الركام الكلية.

٤- اختبار الضغط للمونة

- بعد انتهاء اختبار الانسياب الذى يحدد صلاحية قوام المونة تعاد المونة المستخدمة فى الاختبار إلى الخلاط لمدة ١٥ ثانية بسرعة متوسطة.
- تصب المونة فى القوالب المكعبة على طبقتين طبقا للإجراءات المتبعة فى اختبار تعيين مقاومة الضغط لمونة الأسمنت.
- تخزن العينات ثم تختبر طبقا للإجراءات المتبعة فى اختبار تعيين مقاومة الضغط لمونة الأسمنت.

هـ- النتائج

- **تحسب مقاومة الضغط لكل مكعب مونة بقسمة أقصى حمل على مساحة مقطع العينة.**
- **يؤخذ متوسط نتائج ثلاثة مكعبات مونة لكل اختبار.**
- **تحسب ثلاث نسب لمقاومة الضغط بقسمة متوسط مقاومة الضغط للركام غير المغسول على متوسط مقاومة الضغط للركام المغسول المقابل له بترتيب الخلط لعدد الست خلطات المختبرة.**
- **يعتبر متوسط النسب الثلاث لمقاومة الضغط هو المقاومة النسبية للركام الصغير المختبر.**

٤-٨-١٥ اختبار تعيين الشوائب العضوية للركام

Determination of Organic Imurites

أ- الهدف من الاختبار

الاستدلال على وجود مواد عضوية بالركام الناعم لتحديد ما إذا كانت توجد شوائب عضوية بالركام الصغير وذلك بمقارنة نتيجة الاختبار بمحلول قياسي يحتوى على نسبة من المواد العضوية فى حدود المسموح بتواجده بالركام الناعم.

ب- الأجهزة المستخدمة

- ميزان حساس
- عدد ٢ مخبار مدرج من الزجاج سعة ٢٠٠مل.

جـ- العينات المختبرة

تكون العينة الموردة للاختبار ممثلة للركام الصغير وتستخدم بدون تجفيف.

د- خطوات الاختبار

١- يجهز محلول ٢% من حمض التانيك المذاب فى ١٠% كحول إيثيلى.

٢- يجهز محلول ٣% من هيدروكسيد الصوديوم.

٣- يملأ المخبار الأول بالرمل الناعم المورد بدون تجفيف حتى ١٠٠ مل ثم يضاف إليه محلول ٣ % هيدروكسيد الصوديوم حتى يصير حجم الرمل والمحلول ١٥٠ مل ثم يغطى المخبار بغطائه الزجاجى ثم يرج جيدا.

٤- يجهز المحلول القياسى بملء ٩٧,٥ مل من محلول حمض التانيك فى المخبار الثانى ويضاف اليه ٢,٥ مل من محلول ٣% هيدروكسيد الصوديوم، ويغطى المخبار ثم يرج جيدا.

هـ- النتائج

تقدر كمية الشوائب العضوية الموجودة بالركام الصغير بمقارنة لون المحلول فوقه بلون المحلول القياسى بعد ٢٤ ساعة.

و- حدود القبول والرفض

- إذا كان لون المخبار المحتوى على الرمل فاتحا عن لون المحلول القياسي يعتبر الرمل مقبولا حيث أن كمية من الشوائب العضوية به – إن وجدت – تعتبر عديمة التأثير.
- أما إذا كان لون المحلول فوق الرمل فاتحا عن لون المحلول القياسى فإن ذلك يدل على احتواء الرمل على كمية ملحوظة من الشوائب العضوية، وحينئذ لا يعتبر الرمل مقبولا إلا إذا أجرى عليه الاختبار السابق مباشرة لتعيين درجة الضرر على مقاومة الضغط للمونة.

٤-٨-١٦ تعيين محتوى الأملاح

Determination of Salts Content

يعيين هذا الاختبار الأملاح الضارة بالركام الكبير والصغير وتتمثل هذا الأملاح فى الكلوريد والكبريتات.

محتوى الكلوريدات Chlorides (Cl^-) Content

تعيين الكلوريدات على هيئة (Cl^-) بعد ذوبانه بالماء ومعايرته بمحلول عيارى من نترات الفضة.

الكلوريدات على هيئة (Cl^-) تمثل الكلوريدات الذائبة فى الماء المتواجدة فى الركام المصنع والركام من مصادره الطبيعية.

أ- الهدف من الاختبار

تعيين نسبة الكلوريدات بالركام.

ب- الأجهزة المستخدمة

- ميزان حساس. – سخان كهربائى مسطح. – فرن تجفيف
- ماء مقطر – زجاجيات معملية.

جـ- العينات المختبرة

تؤخذ عينة من الركام ممثلة للمستخدم فى الخرسانة، وتطحن العينة وتمر من منخل رقم ٨ (مقاس ٢,٣٦مم)، وتجفف فى فرن التجفيف عند درجة 105° م.

د- خطوات الاختبار

١- يحضر محلول ٠,٥ عياري من نترات الفضة.

٢- يؤخذ وزن من ٢-٥جم للركام الصغير، ٢٠ – ٣٥جم للركام الكبير ويضاف حوالى ١٥٠ مل ماء مقطر ويسخن لمدة ١٥ دقيقة عند درجة الغليان.

٣- يرشح المحلول وتغسل ورقة الترشيح من ٥ – ٦ مرات بالماء الساخن ثم يبرد الرشيح ويضاف عليه نقطتان أو ثلاث من محلول ثنائي كرومات البوتاسيوم ٥ %.

٤- يعاير الرشيح مع محلول نترات الفضة وتكون نقطة انتهاء المعايرة هى النقطة التى يتحول فيها لـــون الرشيح من الأصفر إلى الأحمر (لون كرومات الفضة).

هـ- النتائج

تحسب النسبة المئوية للكوريدات القابلة للذوبان مقدرة على هئية (Cl^-) كالآتى:

$$C1^- \% = \frac{V \times N \times 0.0355 \times 100}{W}$$

حيث :

$C1^- \%$ = النسبة المئوية للكلوريدات

V = حجم نترات الفضة (مل)

N = عيارية نترات الفضة

W = وزن العينة (جم)

و- حدود القبول والرفض

لا تزيد النسبة المئوية للكلوريدات القابلة للذوبان على هيئة ($C1^-$) عن ٠,٠٤% للركـــام الكـــبير و ٠,٠٦ % للركام الصغير.

محتوى الكبريتات Sulphates (SO_3) Content

تعيين ثالث أكسيد الكبريت يمثل الكبريتات الكلية المترسبة على هيئة كبريتـــات البـــاريوم فى وســـط حامضى.

يعين هذا الاختبار محتوى الكبريتات فى الركام على هيئة (SO_3) ثالث أكـــسيد الكبريـــت، ولتعـــيين الكبريتات الكلية يضاف حمض الهيدروكلوريك ليذيب الكبريتات غير القابلة للذوبان فى الماء.

أ- الهدف من الاختبار

تعيين محتوى الكبريتات بالركام.

ب- الأجهزة المستخدمة

- ميزان حساس.
- سخان كهربائى مسطح.
- فرن تجفيف.
- ماء مقطر.
- زجاجيات معملية.

جـ- العينات المختبرة

تكون العينات ممثلة للركام المستخدم ومطحون أو مجروش كما فى تحضير العينة لاختبار محتوى الكلوريدات.

د- خطوات الاختبار

١- يؤخذ وزن من ٢ – ٥ جم للركام الصغير ومن ٢٠ –٣٠جم للركام الكبير المجروش.

٢- يوضع حوالى ١٠مل من حمض الهيدروكلوريك المركز مع الركام ويسخن حتى الغليان ثم يضاف ١٠ مل أخرى ويبخر مرة أخرى حتى يصل حجم المحلول حوالى ٥ مل.

٣- يضاف حوالي ٥٠ مل من الماء المقطر ويغلى المحلول ثم يرشح مع الغسيل حوالى ٥ مرات.

٤- يضاف ١٠ مل من محلول مشبع ساخن من كلوريد الباريوم. يترك لمدة ساعة ثم يرشح مع الغسيل بالماء المقطر الساخن عدة مرات على وزق ترشيح عديم الرماد.

٥- يحرق الراسب فى بوتقة معلومة الوزن عند درجة حرارة 900°م ثم بعد يوزن بعد الحرق.

هـ- النتائج

$$SO_3\% = \frac{W1 \times 0.343}{W} \times 100$$

$SO_3\%$ = النسبة المئوية للكريتات

W = وزن العينة (جم)

W1 = وزن الراسب المحترق (جم)

٠,٣٤٣ = نسبة ثالث أكسيد الكبريت فى كبريتات الباريوم.

و- حدود القبول والرفض

يجب ألا تزيد النسبة المئوية للكبريتات على هيئة (SO_3) عن ٠,٤ % لكل من الركام الصغير والركام الكبير.

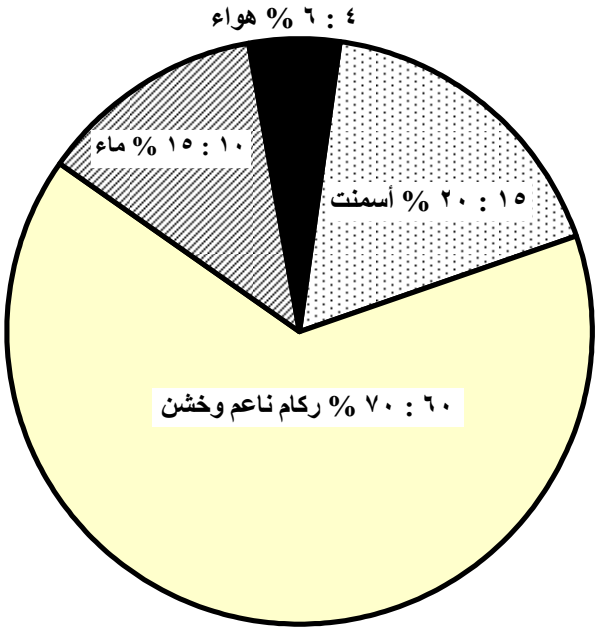
****

الباب الخامس

ماء الخلط والمعالجة للخرسانة

٥-١ مقدمة

للماء أهمية كبرى فى عمليات تصنيع وإنتاج الخلطات المختلفة من المونّ والخرسانات، وبالأخص فى الأعمال الخرسانية وهى تتكون فى أبسط صورها من خليط من العجينة الأسمنتية والركام. العجينة تتكون من اسمنت بورتلاندى وماء تغطى سطح الركام الناعم والخشن. من خلال تفاعل كيميائي يسمى الإماهة (Hydration) فإن العجينة تتصلب وتكتسب قوة لتشكل كتلة كالصخرة تسمى الخرسانة. وعادة فان الخلطة الخرسانية تحتوى على (١٥-٢٠)% من حجمها أسمنت و (٦٠-٧٠) %ركام ناعم وخشن و (١٠ - ١٥) % ماء بالإضافة إلى نسبة (٤ - ٦) % هواء محبوس بداخل الخرسانة. ويبدأ تفاعل الأسمنت البورتلاندى بداخل الخرسانة مع أول وجود للماء فى الخلطة. وبالتالي فان الأسمنت والماء يشكلان العجينة الأسمنتية التى تغطى كل جزء من الرمل والركام الخشن بداخل الخرسانة. وتعتمد خصائص الخرسانة على جودة ونوعية العجينة الأسمنتية المستخدمة، وقوة العجينة الأسمنتية فى المقابل تعتمد على نسبة الماء إلى الأسمنت فى العجينة. ونسبة الماء / الأسمنت هى وزن الماء مقسوما على وزن الأسمنت. حيث أن الخرسانة ذات الجودة العالية يجب أن تحتوى على اقل نسبة ماء إلى أسمنت من الممكن الحصول عليها بدون التأثير على قابلية التشغيل الخاصة بالخرسانة الطازجة.



الحجم النسبي لمكونات الخرسانة

عادة يكون ماء الشرب هو المناسب للاستخدام فى الخرسانة. وبشكل عام فان الماء الذى لا لـــون ولا طعم مميز له يمكن أن يستخدم فى خليط الخرسانة، ولكن استخدام ماء ملوث فى الخليط لن يؤثر فقـــط على فترة الشك للخرسانة أو على قوة الخرسانة لكنه من الممكن أن يؤدى إلى ظهور لطخ على الخرسانة بالإضافة إلى صدأ حديد التسليح وتغير دائم فى حجم الخرسانة وتقليل متانة الخرسانة. وتنص المواصفات عادة على أن الماء يجب أن يكون خالي من الكلوريدات والكبريتات والأملاح فى ماء الخليط و إلا فإن الاختبارات يجب أن تجرى على الخليط لتحديد تأثير احتواء الماء على هذه الملوثات فى صفات الخرسانة الناتجة. وقد يستخدم الماء أيضاً فى عمليات غسيل وبلل الركام المستخدم فى الخرسانة وكذلك عمليات المعالجة للخرسانة. ولأهمية الماء فى الخرسانة يجب أن نناقش استعمالات ونوع ماء الخلـــط المـــستخدم ودوره الفعال لإنتاج الخرسانة. ولذلك يلزم للأسباب السابقة الاهتمام بدراسة ومعرفة تأثير ماء الخلط على أعمال الخرسانات للأغراض المختلفة.

استخدام الماء فى خلط الخرسانة

استخدام الماء فى غسيل الركام وترطيب سطحه

٢-٥ وظيفة ماء الخلط

يعتبر الماء أحد العناصر الأساسية والهامة فى أعمال الخرسانة والإنشاءات حيث أن الماء يقوم بالوظائف الرئيسية الآتية:

- إماهة الأسمنت: يعتبر ماء الخلط العنصر الأساسي لكي تستطيع حبيبات الأسمنت الجافة إتمام تفاعلاتها الكيميائية مكونة عجينة الأسمنت التى تعتبر المادة الفعالة فى الخرسانة والمسئولة عن خاصية التماسك والترابط بين حبيبات الركام وذلك بعد مرحلتي الشك الابتدائي والنهائي حتى التصلد. وقد يحتاج كل جزء من الأسمنت إلى حوالى نسبة تتراوح مابين ٠,٢٥ – ٠,٣٠ من وزنه من الماء وذلك لإتمام إماهته. ويعتبر الماء هو المسئول الرئيسي عن مقاومة الخرسانة الناتجة.
- يساعد الماء بشكل مباشر فى عملية البلل للركام، حتى تحيطه بطبقه من الماء تمنعه من امتصاص الماء اللازم لعملية إماهة الأسمنت.
- يقوم ماء الخلط بالدور الأساسي لعملية قابلية التشغيل للخرسانة فى حالتها الطازجة (عملية التشحيم بين الركام والأسمنت). ولكن عندما يتبخر الماء المسئول عن تشغيل الخرسانة يترك فراغات بالخرسانة مؤثراً على خواصها ومتانتها مع الزمن، لذلك يوصى دائماً بتقليل ماء الخلط المستخدم لهذا الغرض إلى نسبة الماء الصغرى واللازمة لتشغيل الخرسانة.

٥-٣ استعمالات الماء فى الخرسانة

١– خلط الخرسانة. ٢– غسل الركام. ٣– معالجة الخرسانة

❶ خلط الخرسانة

أ – يكون الماء المستعمل فى خلط الخرسانة نظيفا وخاليا من المواد الضارة مثل الزيوت والأحماض والمواد العضوية والأملاح وكذلك الطين والطمي وأي مواد تؤثر تأثيرا متلفا على مكونات الخرســـانة أو حديد التسليح

ويشترط فى ماء الخلط ألا يزيد محتوى الأملاح فيه على:

٢,٠٠ جرام فى اللتر من الأملاح الكلية الذائبة (T.D.S).
٠,٥٠ جرام فى اللتر من أملاح الكلوريدات على هيئة CL.
٠,٣٠ جرام فى اللتر من أملاح الكبريتات على هيئة SO_3.
١,٠٠ جرام فى اللتر من أملاح الكربونات و البيكربونات.
٠,١٠ جرام فى اللتر من أملاح كبريتيد الصوديوم.
٠,٢٠ جرام فى اللتر من المواد العضوية.
٢,٠٠ جرام فى اللتر من المواد غير العضوية وهى الطين والمواد العالقة.

ب – لا يقل الأس الهيدروجيني (pH) لماء الخلط عن (٧) ويجب إجراء تحاليل لمعرفة الرقم الفعلي قبل استخدام الماء.

ج – يعتبر الماء الصالح للشرب – باستثناء الاشتراطات البكتريولوجية – مناسباً فى جميع الأحوال لخلط الخرسانة. وفى حالة عدم توافره يمكن بصفة استثنائية استعمال ماء من مصادر أخرى لخلط ومعالجة الخرسانة بشرط استيفاء الشروط الواردة سابقا وذلك بالإضافة إلى ما يلي:

(١) لا يزيد زمن الشك الابتدائي لعينات الأسمنت المجهزة بهذا الماء بأكثر من ٣٠ دقيقة على زمن الشك الابتدائي لعينات بنفس الأسمنت جُهزت بالماء الصالح للشرب وعلى ألا يقل زمن الشك الابتدائي بأية حال عن ٤٥ دقيقة.

(٢) لا تقل مقاومة الضغط لمكعبات المونة القياسية بعد ٧ و ٢٨ يوما والتى استعمل فيها هذا الماء عن ٩٠% من مقاومة الضغط لعينات مماثلة جهزت بماء خلط صالح للشرب عند نفس العمر. مع استخدام القالب القياسي لاختبار المونة القياسية في كلتا الحالتين.

(٣) يجب عند تصميم الخلطة الخرسانية فى المعمل استخدام نفس نوع الماء الذى يستخدم فى الخلط عند تنفيذ المنشأ وذلك فى مراحل كل من الخلطات المختبرة التجريبية والتأكيدية.

د – لا يسمح على الإطلاق باستخدام ماء البحر فى خلط الخرسانة المسلحة بجميع أنواعها.

هـ -يجوز استعمال ماء البحر – عند الضرورة – فى خلط الخرسانة العادية بدون تسليح على أن يتم تصميم خلطة بنفس الماء مع زيادة محتوى الأسمنت فى الخلطة للوصول إلى المقاومة المطلوبة للخرسانة وبشرط عدم ملامستها لسطح خرسانة مسلحة مع توافر الخبرة السابقة فى استخدام ماء البحر.

و – كمية ماء الخلط:

توجد مشاكل بالنسبة لماء الخلط الصالح للخرسانة ومدى توافره وخاصة في الصحارى ومناطق ندرة المياه العذبة كما أن تحديد كمية المياه اللازمة للخرسانة تعتبر مشكلة تقابل المهندس حيث تتراوح نسبة الماء إلى الأسمنت بين ٣٥% إلى ٦٠% وتتوقف على ما يأتي:

(١) درجة التشغيل المطلوبة للخرسانة الطازجة التى تتطلب قواما معينا لغرض معين (جافة – لدنة – مبتلة).

(٢) نوع العمل الهندسي نفسه – خرسانة رصف الطرق تحتاج إلى ماء خلط أقل من الخرسانة المسلحة.

(٣) كمية الأسمنت المستخدمة بالخلطة الخرسانية أى مدى غنى الخلطة الخرسانية بالأسمنت.

(٤) طريقة دمك الخرسانة فالدمك الميكانيكي باستخدام الهزازات الميكانيكية يحتاج إلى كمية ماء أقل من الدمك اليدوي.

(٥) نوع الركام ومدى تدرجه الحبيبي ومقدار مساحته السطحية وأقصى مقاس له. الخلطات الخرسانية التى تحتوى زلط صغير تحتاج إلى زيادة ماء الخلط .

(٦) درجة حرارة الجو ومقدار رطوبته النسبية.

نتائج زيادة ماء الخلط

(١) حدوث انفصال حبيبي للخرسانة الطازجة.

(٢) حدوث ظاهرة النضح (Bleeding) وما يصاحبها من تواجد طبقة الأسمنت اللباني على سطح الخرسانة وتعرف هذه الظاهرة بالزبد (Laitance).

(٣) وجود طبقة ترابية ناعمة بسطح البلاطات الخرسانية.

(٤) خرسانة متصلدة ذات فراغات (مسامية).

(٥) صعوبة صب الخرسانة فى الأجواء شديدة البرودة لاحتمال تجمد الماء فى الخلطة.

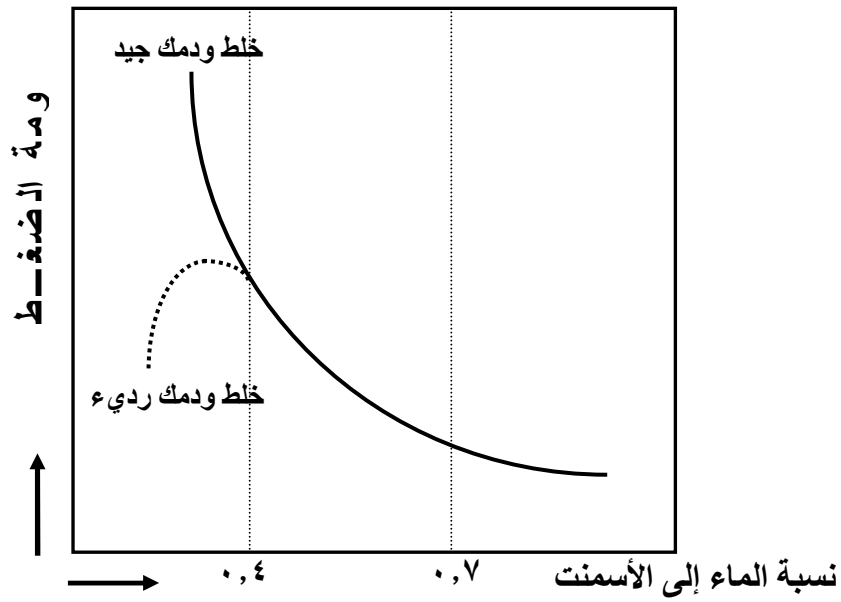
❷ غسل الركام

يستخدم الماء الصالح للشرب فى عمليات غسل الركام والتى تكون عادة بغرض إزالة المخلفات من الطين والمواد الناعمة والأملاح والمواد العضوية والتى تعلق بأسطح الحبيبات ويلاحظ أن استعمال ماء غير صالح لغسل الركام قد يؤدى إلى أضرار تماثل تلك التى تنشأ عند استعمال هذا الماء فى الخلط وذلك لأنها تمنع الالتصاق وتقلل التماسك.

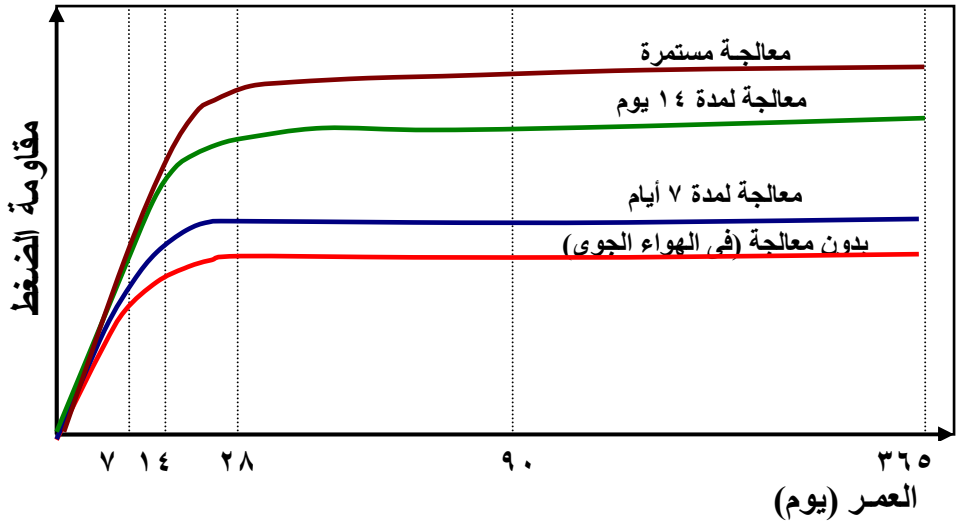
❸ استخدام الماء فى معالجة الخرسانة

المعالجة: هى إحدى الطرق التى تساعد الخرسانة فى الحصول على المقاومة المطلوبة وكذلك تساعد الخرسانة على مقاومة العوامل الجوية وقد أتضح أن استخدام مواد جيدة وبنسب صحيحة ليس ضمانا كافيا للحصول على خرسانة ذات خواص حسنة إذا ما أهملنا مرحلة المعالجة. والمعالجة الكاملة تضيف إلى خواص الخرسانة خاصية المقاومة للبرى وكذلك تحسين مقاومة النفاذية للسوائل. والماء المستعمل فى الخلطة الخرسانية يوزع كالآتي: (يمتص جزءا منه بواسطة حبيبات الركام – جزءا لتحسين درجة التشغيل – الجزء الهام هو إتمام عملية إماهة الأسمنت).

مما سبق يتضح أهمية المحافظة على هذا الماء داخل الخرسانة بواسطة المعالجة بالماء ويتم ذلك بمنع الخرسانة من الجفاف لمدة ثلاثة أيام على الأقل ويمكن الحصول على نتائج أحسن بامتداد فترة المعالجة لمدة ١٤ يوما . وتتم المعالجة بالماء بالرش أو الغمر أو بالخيش المبلل ويجب ألا يحدث الماء المستخدم فى المعالجة بقعاً أو تزهيراً أو ترسيباً أو أى ظواهر غير مقبولة على سطح الخرسانة.



العلاقة بين (م/س) ومقاومة الضغط للخرسانة.



تأثير المعالجة على مقاومة الخرسانة.

٤-٥ المواد الضارة فى ماء الخلط

هناك بعض المواد التى تؤدى إلى تأثيرات ضارة بالخرسانة وذلك عند وجودها فى ماء الخلط منها الطين والمواد الرسوبية والزيوت والأملاح والقلويات والأحماض والمواد العضوية والأصباغ والفضلات ... الخ.

الطين والمواد الرسوبية

يسبب الطين والمواد الرسوبية نقصا ملحوظاً فى مقاومة الخرسانة وعدم ثبات حجمها ويعزى هذا إلى أن الطين نفسه يؤخر التفاعل بين الماء والأسمنت (الإماهة) ويغلف أيضا حبيبات الركام ويحول دون التماسك الكامل بين الركام و عجينة الأسمنت هذا بالإضافة إلى قدرة الطين على امتصاص الماء فيؤدى إلى حدوث تغيرات فى الحجم وانكماش قد يؤدى إلى تشققات. وقد يعتبر وجود الطين بنسبة صغيرة فى ماء الخلط غير ضار بالخرسانة بل قد يساعد على ملء الفراغات الصغيرة الموجودة بين حبيبات الركام وبصفة خاصة فى الخرسانة فقيرة الأسمنت حيث أن التغيرات الحجمية تكون فيها صغيرة أصلاً وكل ما حدث هو أن حبيبات الطين هذه ملأت الفراغات بين حبيبات الركام.

المواد العضوية

ويظهر ضررها عندما تغلف حبيبات الركام وتتسبب فى نقص التماسك بينها وبين عجينة الأسمنت كما أنها قد تكون سببا فى تشقق الخرسانة ثم تفتتها. وتظهر التشققات على هيئة مجموعة من التشققات الشعرية تنمو إلى شروخ وتصل إلى تفتت ولا يقتصر ضرر هذه التشققات على الخرسانة نفسها بل قد يمتد الضرر إلى غير الخرسانة فمثلا فى الممرات الجوية والطرق قد تؤدي هذه الشروخ إلى تآكل الإطارات فتتأثر بذلك السرعة كما تتأثر اليايات والأجزاء الأخرى.

الأمـلاح

الأملاح مثل الكبريتات و الكلوريدات وفى بعض الأحيان الكربونات لها تأثيرات ضاره على الخرسانة وبعضها قد يتسبب فى تزهيرها. وفى بعض الأحيان يسمح باستخدام ماء البحر فى خلط الخرسانة مع اتخاذ بعض الاحتياطيات ولو أنه يتسبب فى ظهور بعض الأملاح على سطحها نتيجة لحركة الماء المحمل بالأملاح تجاه السطح. هذا فضلا عن إمكانية استخدامه فى بعض الأحيان كماء للمعالجة . كما تسبب الكلوريدات صدأ حديد التسلح ولذلك يجب التأكد من أن الخرسانة التى ستوضع فى ماء البحر غير منفذة للماء كما يجب عدم استخدام ماء البحر فى الخرسانة المسلحة حتى لا يصدأ حديد التسليح . وفى بعض الأحيان حين يؤدى استخدام ماء البحر للخرسانة إلى نقص مقاومتها قد تضيف عاملا يعمل على زيادة المقاومة لمعادلة تأثير ماء البحر ويكون ذلك العامل غالبا هو زيادة نسبة الأسمنت مثلا.

الأحماض والقلويات

بصفة عامة فإن أي مواد كيميائية تؤثر على درجة تعادل الماء تسبب مشاكل حيث تؤثر على زمن شك الأسمنت (تسبب شك سريع). كما أنها تسبب خطراً على الخرسانة عند تفاعل الركام مع الخرسانة ولذلك يجب أن لا يقل الأس الهيدروجيني للماء عن ٧.

٥-٥ اختبارات مياه الخلط والمعالجة

يشتمل هذا البند على الاختبارات الطبيعية والكيمائية طبقاً لما جاء بالكود المصري لتصميم وتنفيذ الخرسانة وذلك لتحديد مدى صلاحية مياه الخلط والمعالجة لأعمال الخرسانة المسلحة والخرسانة سابقة الإجهاد وتشتمل هذه الاختبارات ما يلي:

- تعيين الأملاح الذائبة.
- تعيين الكلوريدات.

- تعيين الكبريتات.
- تعيين الكربونات البيكربونات.
- تقدير المواد العضوية.
- تقدير المواد العالقة.
- تعيين كبريتيد الصوديوم.

❶ اختبار تعيين الأملاح الذائبة

الهدف من الاختبار

تعيين محتوى الأملاح الذائبة فى الماء (جم/لتر) بتبخير حجم معلوم من الماء حتى الجفاف.

الأجهزة المستخدمة

– ميزان حساس – فرن تجفيف – طبق تبخير من البلاتين

خطوات الاختبار

١– يجهز ١ لتر من عينة الماء بترشيحها لفصل المواد العالقة منها.

٢– ترشح عينة المياه ترشيحا دقيقا ويؤخذ من الرشيح حجم مناسب لإجراء الاختبار عليه.

٣– توضع حوالى ٢٥مليلتر من العينة فى طبق تبخير معلوم الوزن.

٤– تبخر على حمام مائي حتى الجفاف ثم ينقل إلى فرن تجفيف عند درجة ١٠٥° عند ثبات الوزن.

٥– يتم تعيين الأملاح الذائبة من العلاقة الآتية:

$$S = \frac{W_1 - W}{v} \times 1000$$

S = الأملاح الذائبة جم/لتر

W = وزن طبق التبخير فارغ (جم)

W1 = وزن طبق التبخير بالراسب (جم)

V = حجم العينة (مل)

حدود القبول والرفض

يشترط ألا يزيد محتوى الأملاح الكلية الذائبة على ٢جم/لتر.

❷ اختبار تعيين الكلوريدات

الهدف من الاختبار

تعيين الكلوريدات الذائبة فى الماء بمعايرتها بمحلول ٠,٠٢٥عيارى من نترات الفضة فى وجـــود ثنـــائي كرومات البوتاسيوم أو كرومات البوتاسيوم وتحسب على هيئة (Cl^-)

الأجهزة

– ميزان حساس – فرن تجفيف – زجاجات وأدوات معملية

خطوات الاختبار

١– يجهز ١لتر من عينة المياه بعد ترشيحها لفصل أى مواد عالقة.

٢– تؤخذ من العينة المرشحة ٥ مل وتخفف إلى حوالى ٥٠ مل بالماء المقطر.

٣– يتم ضبط الأس الهيدروجيني للعينة إلى ٨,٣ وذلك باستخدام حامض الكبريتيك المخفف (١: ١٩) أو هيدروكسيد الصوديوم ١٠جم/لتر.

٤– يضاف من ٥–١٠نقط من الكاشف (ثنائي كرومات البوتاسيوم).

٥– يعاير الخليط بمحلول نترات الفضة عيارية (٠,٠٢٥عيارى) حتى يظهر اللون الأحمر.

٦– يتم تعيين محتوى الكلوريدات من العلاقة الآتية:

$$Cl^- = \frac{35.5 \times V \times N}{V_1} \times 1000 \quad g/L$$

Cl^- = تحسب الكلوريدات على هيئة (Cl^-) جم/لتر.

V = حجم نترات الفضة المستخدمة فى المعايرة.

N = عيارية نترات الفضة.

V1 = حجم العينة المختبرة (مل)

حدود القبول والرفض

يشترط ألا يزيد محتوى الكلوريدات على هيئة (Cl^-) على ٠,٥ جم/لتر.

❸ اختبار تعيين الكبريتات

الهدف من الاختبار

تعيين الكبريتات الذائبة فى الماء ويحسب على هيئة (SO_3)

الأجهزة المستخدمة

- ميزان حساس - فرن حريق كهربي - زجاجات معملية

خطوات الاختبار

١- يجهز ١ لتر من عينة المياه بعد ترشيحها لفصل المواد العالقة.

٢- تؤخذ ١٠٠مل من عينة المياه بعد ترشيحها فى كأس زجاجي سعة ٢٥٠مل.

٣- يضاف من ١-٢مل حامض الهيدروكلوريك (١ : ١) مع إضافة عدة نقط من كاشف المثيل البرتقالي.

٤- يضاف ١٠مل من محلول ١٠% كلوريد الباريوم ويلاحظ ترسيب راسب أبيض.

٥- يسخن المحلول لدرجة حوالى ٨٠°م لمدة لا تقل عن ساعة تقريبا.

٦- يضاف محلول إضافي من كلوريد الباريوم حتى يتم التأكد من الترسيب الكامل للكبريتات.

٧- يرشح الراسب على ورق ترشيح ويغسل عدة مرات بالماء المقطر الساخن ويعاد الكشف على نظافة الرشيح من الكبريتات.

٨- تحرق ورقة الترشيح بعد تجفيفها فى بوتقة جافة معلومة الوزن لمدة ساعة عند درجة ٩٠٠°م.

٩- يتم تعيين محتوى الكبريتات من العلاقة الآتية:

$$SO_3 = 343 \times \frac{W}{V} \quad g/L$$

حيث

SO_3 = الكبريتات (SO_3) جم/لتر.

W = وزن الراسب بعد الحرق (جم)

V = حجم العينة المختبرة (مل)

حدود القبول والرفض

يشترط ألا يزيد محتوى الكبريتات على هيئة (SO_3) على ٠,٣جرام فى اللتر.

❹ اختبار تعيين الكربونات و البيكربونات

الهدف من لاختبار

تعيين محتوى الكربونات و البيكربونات

الأجهزة المستخدمة

– ميزان حساس – سخان كهربائي مسطح – زجاجات معملية

خطوات الاختبار

١– تجهز عينة مرشحة من المياه لفصل المواد العالقة.

٢– يجهز محلول ١ عياري كربونات الصوديوم الجافة بإذابة ٥٣ جم منها فى لتر مياه مقطره.

٣– يجهز ١ عياري حمض كبريتيك مركز بتخفيف ٢٨ مل من الحامض بالماء المقطر إلى حجم لتر.

٤– يعاير الحامض بيكربونات الصوديوم ١ عياري وتضبط عياريته إلى ١ عياري بالضبط ثم يؤخذ منه ٢٠مل ويخفف إلى لتر بالماء المقطر فى دورق عياري لتحضير حامض ٠,٠٢ عياري (١ مل من الحامض ٠,٠٢ عياري يكافىء ١مللى جرام كربونات كاليسوم).

٥– يؤخذ ٥٠ مل من العينة ويضاف إليها دليل المثيل البرتقالي وتعاير بالحمض ٠,٠٢ عياري حتى يتغير اللون الأصفر إلى اللون البرتقالي.

٦– يؤخذ ٥٠ مل من العينة ويضاف إليها الفينولفثالين وتعاير بالحمض ٠,٠٢ عياري حتى اختفاء اللون الأحمر.

٧– يضاف المثيل البرتقالي على نفس العينة وتكمل المعايرة حتى نقطة التعادل (اللون الأصفر إلى البرتقالي).

٨– يتم تعيين محتوى الكربونات و البيكربونات من العلاقات الآتية:

$$\text{القلوية الكلية مقدرة ككربونات كالسيوم جم/لتر} = \frac{\text{حجم الحمض المستخدم فى المعايرة فى وجود دليل المثيل البرتقالي}}{\text{حجم العينة}}$$

فى حالة القلوية الكلية كربونات وبيكربونات:

❖ قلوية الكربونات (مقدرة ككربونات كالسيوم) جم/لتر=

$$\frac{\text{حجم حمض الكبريتيك المستخدم فى المعايرة فى وجود دليل الفينوفيثالين} \times ٢}{\text{حجم العينة}}$$

❖ قلوية البيكربونات = القلوية الكلية – قلوية الكربونات جم/لتر

حدود القبول والرفض

يشترط ألا يزيد محتوى الكربونات و البيكربونات على ١جم/لتر

❺ اختبار تقدير المواد العضوية

الهدف من الاختبار

يهدف الاختبار إلى تعيين المواد العضوية (جم/لتر)

الأجهزة المستخدمة

– ميزان حساس – فرن تجفيف. - فرن حريق يصل إلى ٦٠٠° م – بوتقة بلاتين

خطوات الاختبار

١– تجهز عينة من المياه المرشحة الخالية من المواد العالقة

٢– يؤخذ ١٠ مل من الماء المرشح فى طبق بلاتين نظيف ويترك ليتبخر على حمام رملي عند درجة حرارة ١٠٥°م حتى الجفاف وثبات الوزن.

٣– يسخن الطبق البلاتيني عند درجة حرارة ٦٠٠°م ويترك ليبرد.

٤– يضاف ١٠٠مل من الماء المقطر ويعاد تجفيفه مرة أخرى عند درجة حرارة ١٨٠°م لمدة ساعة وتوزن.

٥– يتم تقدير المواد العضوية بالعلاقة الآتية:

$$\text{المواد العضوية عند ٦٠٠°م جم/لتر} = \frac{(\text{الوزن عند ١٠٥°م} - \text{الوزن عند ٦٠٠°م}) \times ١٠٠٠}{\text{حجم العينة}}$$

حدود القبول والرفض

يشترط ألا يزيد محتوى المواد العضوية على ٠,٢جم/لتر.

****

الباب السادس

الإضـافـات Admixtures

تتركب الخرسانة من الركام والأسمنت وماء الخلط وفى بعض الأحيان تستخدم بعض الإضافات الكيميائية بغرض تحسين بعض الصفات المعينة فى الخرسانة. وفي هذا الباب سنتناول ببعض التفصيل الإضافات الكيميائية من حيث أنواعها ووظائفها وخصائصها وكيفية الإستفادة منها.

٦-١ تعـريـف

الإضافات هى مواد - غير الركام والأسمنت والماء- تضاف إلى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط بكميات صغيرة جداً بغرض إعطاء الخرسانة الطازجة أو الخرسانة المتصلدة خواص معينة مطلوبة مثل:

- **تحسين القابلية للتشغيل للخرسانة الطازجة دون زيادة ماء الخلط.**
- **التعجيل أو التأخير فى الشك.**
- **تقليل معدل فقد الهبوط للخرسانة.**
- **تحسين القدرة على ضخ الخرسانة.**
- **الحد من حدوث الإنفصال الحبيبى.**

- **زيادة المقاومة المبكرة للخرسانة.**
- **الحصول على خرسانة عالية المقاومة.**
- **تحسين خواص الخرسانة المتصلدة مثل مقاومة البرى.**
- **الحصول على خرسانة غير منفذة للماء أو خرسانة خلوية أو خرسانة ذات صفات خاصة.**

٦-٢ الاشتراطات العامة المطلوبة عند إستخدام الإضافات

١- يجب أن لا تؤثر تأثيراً ضاراً على الخرسانة أو حديد التسليح.

٢- أن تتناسب الفوائد الناتجة من إستخدام الإضافات مع الزيادة فى التكاليف.

٣- يجب عدم إضافة كلوريد الكالسيوم أو الإضافات التى أساسها من الكلوريدات بتاتاً إلى الخرسانة المسلحة أو الخرسانة سابقة الإجهاد أو الخرسانة التى بها معادن مدفونة.

٤- يجب التأكد من مدى ملائمة وفاعلية أى من الإضافات بواسطة خلطات تجريبية.

٥- إذا إستخدم نوعين أو أكثر من الإضافات فى نفس الخلطة الخرسانية فيلزم أن تتواجد معلومات كافية لبيان مدى تداخلهما والتأكد من مدى توافقهما.

٦- يراعى أن سلوك الإضافات مع الأسمنتات المخلوطة أو عالية المقاومة للكبريتات يختلف عنه فى حالة الأسمنت البورتلاندى. لذلك يجب أن تتوافر معلومات كافية عن مدى الأدائية السليمة للإضافات مع الأنواع المختلفة من الأسمنت.

٧- يلزم توريد الإضافات معبأة داخل براميل أو أوعية محكمة الغلق ومطبوع عليها الإسم التجارى وتاريخ الإنتاج ومدة الصلاحية وكذلك شهادة بخواص الإضافة الموردة ومطابقتها للمواصفات القياسية ذات الصلة. كما يجب تخزين الإضافات بطريقة تحميها من الرطوبة ومن أشعة الشمس والحرارة.

٦-٣ أهم الأنواع الشائعة من الإضافات

يوجد العديد من الإضافات الكيميائية التى تستخدم مع الخرسانة ويمكن تقسيمها إلى المجموعات الآتية:

١- إضافات تخفيض الماء والتحكم فى الشك (سبعة أنواع).

٢- إضافات الهواء المحبوس.

٣- إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة.

٤- إضافات لمقاومة إجتراف الأسمنت بفعل الماء

٥- إضافات لتلوين الخرسانة.

٦- إضافات أخرى متنوعة.

٦-٣-١ إضافات تخفيض الماء والتحكم فى الشك

Water Reducing and Set Controlling Admixtures (ASTM C494)

وهذه الإضافات هى أهم وأكثر أنواع الإضافات إستخداماً وشيوعاً فى مجال الخرسانة وهى تختص بتقليل ماء الخلط (بدرجات متفاوته) والتحكم فى تصلب الخرسانة بالتأخير أو التعجيل. وتنقسم هذه المجموعة إلى سبعة أنواع مختلفة وتميزها المواصفات الأمريكية ASTM C494 بالحروف من A إلى G كما يلى:

١ـ إضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة	ASTM C494 - Type A
٢ـ إضافات تأخير الشك	ASTM C494 - Type B
٣ـ إضافات تعجيل الشك	ASTM C494 - Type C
٤ـ إضافات تخفيض ماء الخلط وتأخير الشك	ASTM C494 - Type D
٥ـ إضافات تخفيض ماء الخلط وتعجيل الشك	ASTM C494 - Type E
٦ـ إضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة بدرجة عالية	ASTM C494 - Type F
٧ـ إضافات تخفيض ماء خلط الخرسانة بدرجة عالية وتأخير الشك	ASTM C494 - Type G

وكما نرى فإن الأنواع السبعة السابقة بهذه المجموعة من الإضافات ينحصر تأثيرها فى واحد أو أكثر من التأثيرات الثلاث الرئيسية الآتية:

١ـ تخفيض ماء الخلط (الملدنات والملدنات الفائقة)	ASTM Type A, F
٢ـ تأخير الشك (المؤجلات)	ASTM Type B
٣ـ تعجيل الشك (المعجلات)	ASTM Type C

فنجد مثلاً أن النوع D عبارة عن مزيج من النوعين A , B.

أما النوع E عبارة عن مزيج من النوعين A , C.

فىحين نجد أن النوع G عبارة عن مزيج من النوعين B , F.

وفيما يلي شرح موجز للأنواع الرئيسية من هذه المجموعة

أولاً: مخفضات الماء (الملدنات والملدنات الفائقة) Plasticizers and Superplasticizers

ASTM C494 Type A & F

توجد الملدنات (البلاستسيزر) و الملدنات الفائقة (السوبربلاستسيزر) عموماً فى صورة سائلة وتضاف الى الخلطة الخرسانية بنسبة تتراوح من ١% إلى ٣% من وزن الأسمنت وهى أكثر وأهم أنواع الإضافات إستخداماً وشيوعاً. وقد وجد أن نسبة ٣% من الملدنات الفائقة تعطى أفضل النتائج. وتوجد الملدنات فى السوق تحت أسماء تجارية عديدة منها أدكريت - كونبلاست - سيكامنت - ملمينت ٠٠٠إلخ. والفرق بين النوعين A , F هو أن ان درجة تخفيض ماء الخلط بالنسبة للنوع A (الملدنات) تتراوح من ٦ إلى ١٢% عند ثبات قوام الخلطة الخرسانية. أما بالنسبة للنوع F (الملدنات الفائقة) فإن درجة تخفيضها للماء تزيد عن ١٢% وقد تصل إلى ٣٠% عند نفس قوام الخلطة الخرسانية.

❐ وظيفتها ❐

- تحسين خواص الخرسانة الطازجة وذلك بزيادة القابلية للتشغيل وزيادة السيولة مع ثبات نسبة (م/س) كما فى شكل (٦-١).
- الحصول على خرسانة ذاتية الدمك.
- تحسين خواص الخرسانة المتصلدة وذلك بتخفيض نسبة (م/س) فى الخلطة مع ثبات درجة القابلية للتشغيل وبالتالى الحصول على خرسانة عالية المقاومة (شكل ٦-٢).
- الحصول على خرسانة ذات مقاومة مبكرة عالية (شكل ٦-٣).
- الحصول على خرسانة عالية الأداء قليلة النفاذية.
- الحصول على خرسانة بدون إنفصال حبيبى أو نضح.

◘ طبيعة الملدنات ◘

الملدنات (A) والملدنات الفائقة (F) عبارةعن مواد بوليمرية تأخذ تركيبات كيميائية متنوعة من أهمها:

- الأساس الكيميائى للنوع **A**

- لجنوسلفونيت	**Ligno-Sulfonate**
- أحماض الهيدروإكسيكربوإكسلك	**Hydroxycarboxylic Acids**
- كربوهيدرات	**Carbohydrates**

- الأساس الكيميائى للنوع **F**

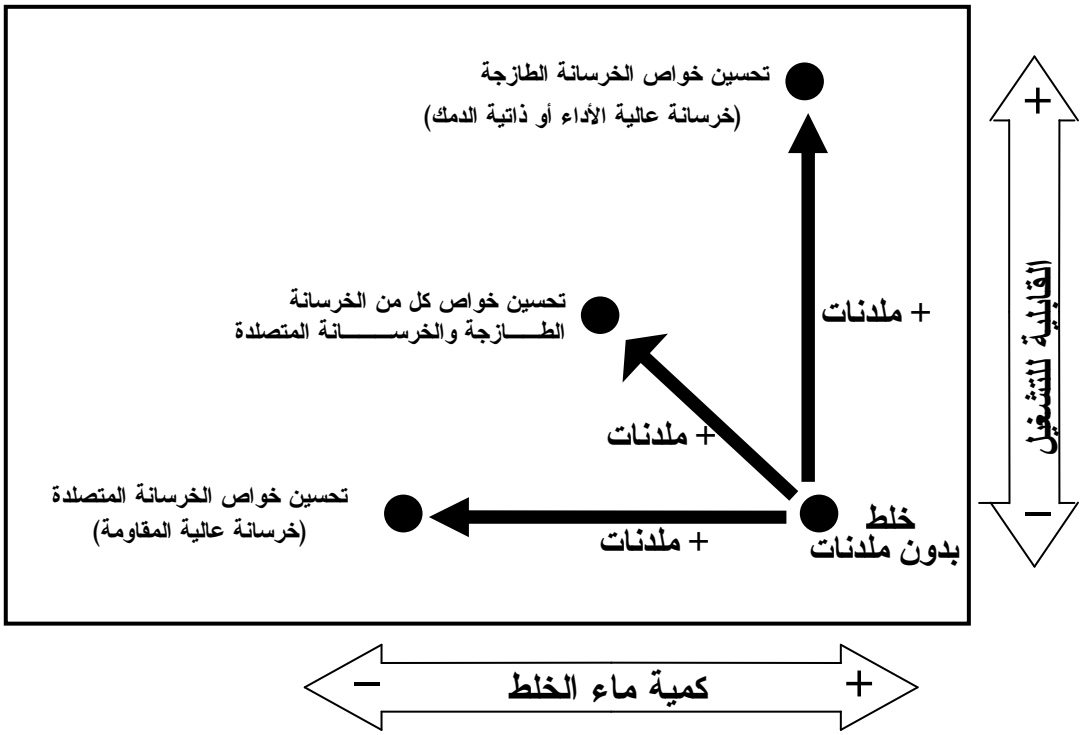
- لجنوسلفونيت معدل	**Modified Ligno-Sulfonate**
- ميلامين فورمالدهيد	**Melamine Formaldehyde**
- نفثالين فورمالدهيد	**Naphthaline Formaldehyde**
- فينول فورمالدهيد	**Phenol Formaldehyde**
- ناتج تكثيف بيتا نفثالين سلفونيت	**Beta-naphthaline Sulfonate**

ويمكن الحصول على النوع الأول (لجنوسلفونيت)كمنتج ثانوى من مصانع الورق. و تجدر الإشارة هنا إلى إمكانية مزج النفثالين والميلامين بكبريتات السليلوز التى تعتبر أقل تكلفة من النفثالين والميلامين بالإضافة أن كمية السكر الموجودة فى كبريتات السيليلوز فى معظم الحالات تكون مبطئة للشك مما يعنى إحتفاظ الخرسانة بتشغيليتها لفترة طويلة والتحكم بدرجة معينة فى معدل فقد الهبوط Control of Slump Loss وهو مناسب للإستخدام فى المناطق الحارة (Type D or G). وتجدر الإشارة أن تأثير الملدنات الفائقة على قوام الخرسانة لايستمر إلا لمدة من ٣٠ إلى ٦٠ دقيقة من لحظة إضافته إلى الخرسانة ، و تقل هذه المدة بإرتفاع درجة الحرارة حيث أن معدل فقد الهبوط فى الخرسانة المحتوية على الملدنات الفائقة يزداد بإزدياد درجة الحرارة.

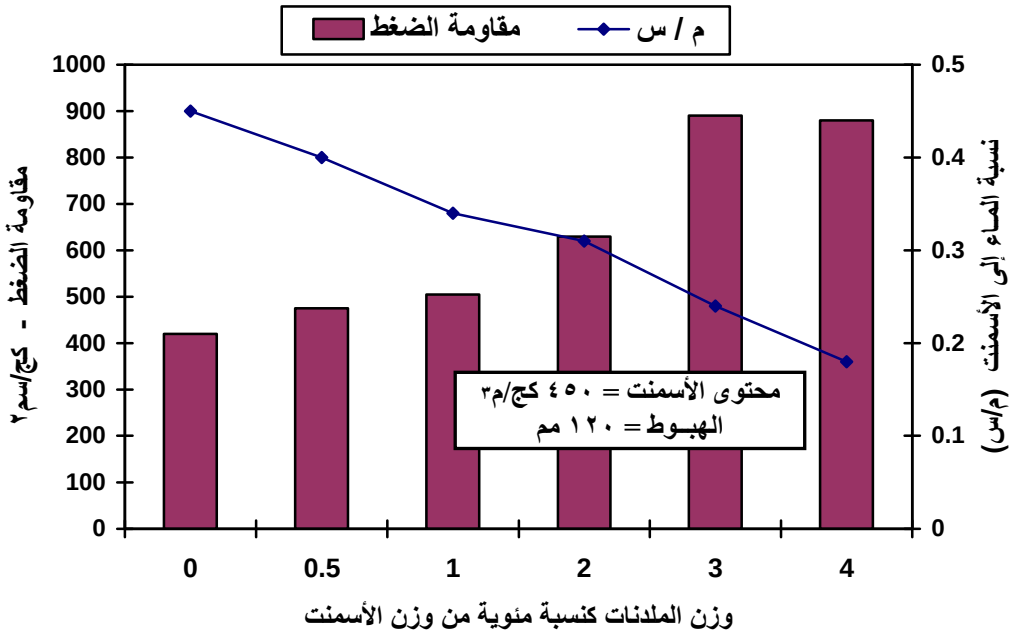
◘ أسـس إختيـار الملدنات والملدنات الفائقة ◘

ينبغي أن يكون إختيار نوع مادة الملدن على الأسس الآتية:

١- معدل تخفيض ماء الخلط	**٢- معدل فقد القابلية للتشغيل**
٣- التأثير على زمن الشك	**٤- التوافق مع الأسمنت المستخدم**
٥- المقاومة الناتجة للخرسانة	**٦- الثمن و التكاليف.**



شكل (٦-١) الوظائف الرئيسية للملدنات أو الملدنات الفائقة.



شكل (٦-٢) تأثير الملدنات الفائقة على كل من مقاومة الضغط ونسبة الماء إلى الأسمنت.

◘ كيـف تعمل المـلدنـات ◘

إن كيفية عمل الملدنات أو الملدنات الفائقة فى تسييل الخرسانة يأخذ واحداً أو أكثر من الصور الآتية:

١- تشتيت حبيبات الأسمنت المتكتلة وإطلاق المياه المحبوسة بينها.

٢- إحداث التنافر الكهروستاتيكى بين الجزيئات.

٣- العمل علىتشحيم الطبقة الرقيقة بين حبيبات الأسمنت.

٤- تأجيل عملية الإماهة السطحية لحبيبات الأسمنت مع ترك المزيد من المياه لتسييل الأسمنت.

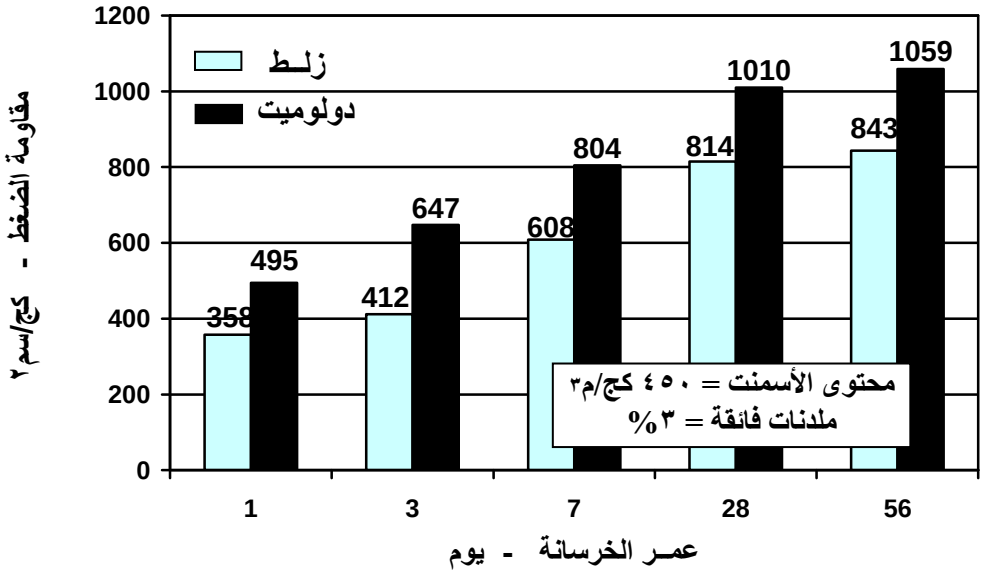
٥- تقليل الشد السطحى للمياه.

٦- تغير البنية التركيبية فى منتجات تفاعلات الإماهة.

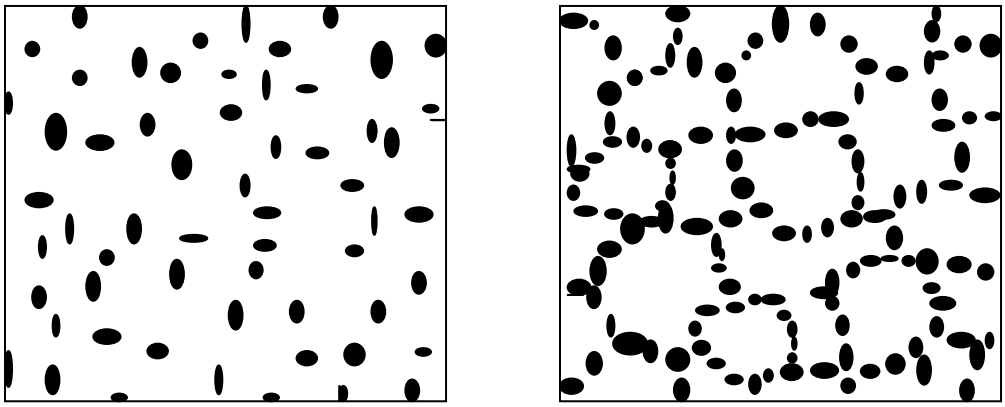
إن جزئيات الأسمنت البورتلاندى العادى تتميز بميلها الشديد للتكتل عندما تخلط مع الماء وهذا الميل هو حصيلة لتفاعلات داخلية متنوعه مثل التفاعلات الالكتروستاتيكية بين الشحنات المتضادة وكذلك تفاعلات عملية الإماهة المتنوعة. إن عملية التكتل تقود إلى تشكيل شبكة من الجزيئات كما هو موضح فى الشكل (٦-٤-أ) حيث تقوم هذه الشبكة بحجز نسبة من الماء حيث يكون هذا مطلوباً لإتمام عملية الإماهة وكذلك توفير التشغيلية المطلوبة فى الخرسانة. ويترتب على ذلك حدوث زيادة فى اللزوجة الظاهرية للنظام الأسمنتى. ودور الملدنات أو الملدنات الفائقة هنا هو العمل على فصل حبيبات الأسمنت المتكتلة عن بعضها ومن ثم الحصول على توزيع متجانس للمياه وإتصال مثالى بين المياه وحبيبات الأسمنت كما هو موضح بشكل (٦-٤-ب).

◘ إختبار عملى ◘

يمكن الوصول إلى طبيعة عمل الملدنات أو الملدنات الفائقة من حيث القيام بفصل حبيبات الأسمنت المتكتلة عن بعضها وذلك بإجراء تجربة ترسيب بسيطة حيث تُؤخذ كمية ثابته من الأسمنت وتُخلط مع الماء خلطاً جيداً ويُترك العالق فى مخبار مدرج وسنلاحظ أن جزيئات الأسمنت تكتلت وهبطت إلى القاع فى خلال وقت صغير نسبياً قد يصل إلى حوالى ٢٠ دقيقة فقط كما نلاحظ أن حجم هذه الحبيبات قد أصبح أكبر مما كان عليه ويتضح ذلك من الفارق فى الحجم المشغول فى المخبار المدرج بالأسمنت الجاف عند مقارنته بالأسمنت الرطب. بينما إذا إستخدمنا نوع معين من الملدنات أو الملدنات الفائقة مع نفس كمية الأسمنت السابقة يلاحظ أنه بعد مضى نفس الزمن السابق أن جزيئات الأسمنت ما تزال معلقة فى الماء ولا يتم ترسبها كلياً إلا بعد وقت يتراوح من ٢٤ساعة إلى ٤٨ساعة وفى هذه الحالة شكلت جزيئات الأسمنت طبقة كثيفة لها نفس حجم الأسمنت الجاف وهذه التجربة تشير بوضوح إلى أن الملدنات أو الملدنات الفائقة تكون فعالة جداً فى تفكيك جزيئات الأسمنت وتشتيتها ويمكن إستغلال هذه التجربة أيضا فى تحديد نسبة الإضافة المطلوبة للأسمنت.



شكل (٦-٣) استخدام الملدنات الفائقة للحصول على مقاومة مبكرة عالية.



(أ) بدون ملدنات (تكتل) (ب) وجود ملدنات (تشتت)

شكل (٦-٤) دور الملدنات أو الملدنات الفائقة فى فصل وتشتيت حبيبات الأسمنت المتكتلة.

ثانـياً: إضافات تأخير الشك (المؤجلات) Retarders

ASTM C494 Type B

◘ وظيفتها ◘

تؤخر شك الأسمنت أى تزيد زمن شك و تصلد الخرسانة وتقلل درجة حرارة الإماهة للأسمنت فيقل معدل زيادة المقاومة Rate of Strength Gain وقد تسبب المؤجلات زيادة الإنكماش اللدن فى الخرسانة ولكن ليس لها تأثير يذكر على الخواص الطبيعية والميكانيكية للخرسانة المتصلدة.

◘ الهـدف منـها ◘

- **عمل خرسانة فى الأجواء الحارة حيث يحدث الشك الإبتدائى للأسمنت سريعاً جداً.**
- **إذا كانت ظروف صب الخرسانة صعبة ويلزم جعل المونة الأسمنتية لدنة أو سائلة لمدة طويلة.**
- **إذا كانت هناك رسالة من الأسمنت ذات زمن شك صغير جداً.**
- **الحصول على خرسانة ذات ركام بارز ظاهر بسطحها.**

◘ أهم المركبات المستخدمة ◘

المواد الكربوهيدراتية Carbohydrates والسكر Sugar

وأملاح الزنك Zink والفوسفات Phosphates.

ثالثـاً: إضافات تعجيل الشك (المعجلات) Accelerators

ASTM C494 Type C

◘ وظيفتها ◘

تعجل أو تسرع من شك الأسمنت أى تقلل زمن شك و تصلد الخرسانة وبالتالى يزداد معدل التصلد وكذلك تزداد الحرارة المنبعثة المبكرة.

◘ الهدف منها ◘

أ- تستخدم بغرض التعجيل بالشك كما فى الأحوال الآتية:

- إزالة تأثير تأخر الشك الناتج من درجات الحرارة المنخفضة.
- إزالة تأثير تأخر الشك الناتج من إستخدام اضافة أخرى.
- أعمال الطوارئ مثل وقف رشح المياه فى الخزانات.

ب- تستخدم بغرض الحصول على خرسانة مبكرة المقاومة كما فى حالة:

- إزالة الفرم مبكراً.
- التعجيل بزمن إستخدام المنشأ الخرسانى.
- تقليل المدة المطلوبة للمعالجة.

جـ- تستخدم بغرض الحصول على خرسانة تقاوم الصقيع وذلك نتيجة الحرارة المنبعثة المبكرة.

◘ أهم المركبات المستخدمة ◘

المركبات المستخدمة كمعجلات للشك فى الخرسانة هى الهيدروكسيدات القلوية وأملاح الكربونات الذائبة والسليكات ونترات الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم و هو الأكثر شهرة نظراً لرخص سعره و كفائته العالية فى رفع المقاومة المبكرة وتقليل زمن الشك وأملاح الكربونات الذائبة وتستخدم بنسب ١ إلى ٢% وبحد أقصى ٤% من وزن الأسمنت. ولكن من عيوب إستخدام كلوريد الكالسيوم فى الخرسانة االمسلحة هو إمكانية حدوث تآكل وصدأ فى حديد التسليح نتيجة تواجد أيونات الكلور فى وجود الرطوبة والأكسجين. لذلك يجب عدم إستخدام كلوريد الكالسيوم فى الخرسانة المحتوية على حديد تسليح. ويوجد مركبات أخرى بديلة ولكنها أقل كفاءة وأغلى ثمناً مثل نيتريت الكالسيوم وأملاح النترات والبروميدات والفلوريدات والكربونات والسليكات.

◘ إحتياطات ◘

- عدم زيادة نسبة هذه الإضافات عن الحد الأقصى وذلك مخافة حدوث الشك الخاطف Flash Set.
- استخدامها فى الأجواء الحارة بحساب وحذر لتلافى حدوث شروخ الانكماش.

٦-٣-٢ إضافات الهواء المحبوس Air Entraining Admixtures

□ الهدف منها □

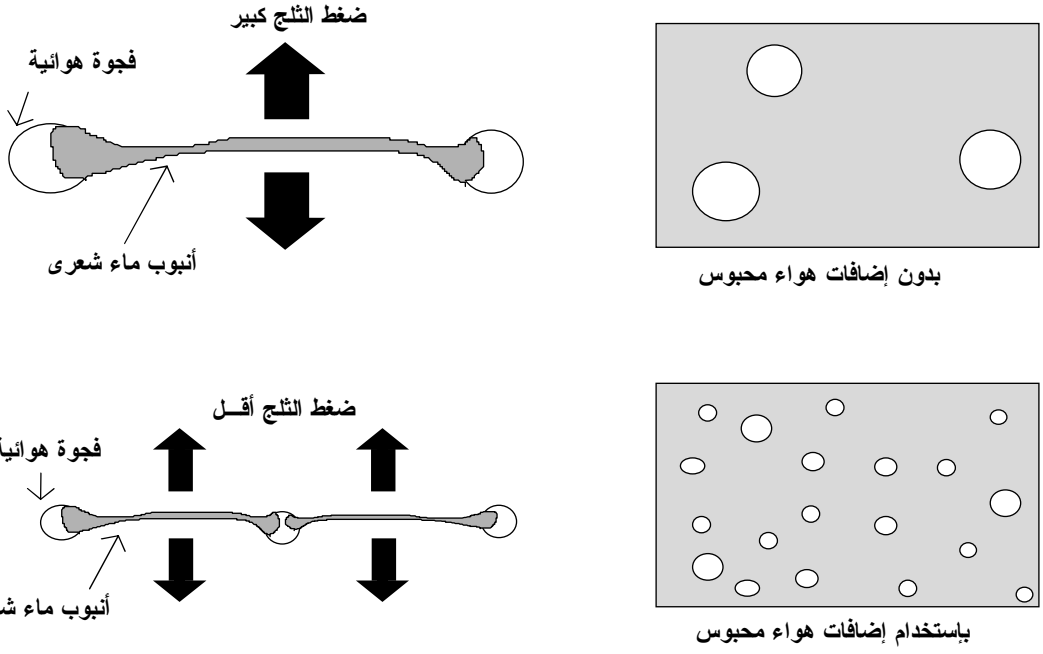
تقليل وزن الخرسانة وزيادة المتانة Durability وخاصة المقاومة للصقيع Frost Resistance ويتم ذلك عن طريق إحداث فقاعات Bubbles هوائية دقيقة (غير متصلة) موزعة توزيعاً منتظماً خلال الكتلة الخرسانية وتبقى كذلك بعد تصلد الخرسانة كما فى شكل (٦-٥).

□ ويمكن أن يتم ذلك بطريقتين □

١- إضافة مواد تحدث رغاوى Foaming وذلك أثناء خلط الخرسانة مثل بعض المركبات العضوية كالأصماغ الخشبية Resins والزيوت والمنظفات الصناعية.

٢- إستخدام مواد صلبة تتفاعل مع الأسمنت وتنتج غاز الهيدروجين على هيئة فقاعات دقيقة كثيرة مثل مسحوق بودرة الألمنيوم وبودرة الزنك والماغنسيوم.

وتستخدم هذه المواد بنسب تتراوح من ٠,٠١% إلى ٠,٠٣% من وزن الأسمنت وتحدث هواء محبوس يتراوح من ٥% إلى ١٥% من حجم الخرسانة. ولا تؤثر هذه الإضافات على زمن الشك للخرسانة بينما تؤدى إلى زيادة إنكماش الجفاف وتقل المقاومة فقد وجد أن هناك علاقة عكسية بين نسبة الهواء المحبوس فى الخلطة ومقاومة الضغط للخرسانة ، حيث تقل المقاومة بمعدل حوالى ٥% تقريباً لكل نسبة هواء محبوس مقدارها ١%.



شكل (٦-٥) تأثير إضافات الهواء المحبوس فى تحسين مقاومة الصقيع.

٦-٣-٣ إضافات لمنع نفاذ الماء بالخرسانة Permeability-Reducing Admixtures

❐ الهدف منها ❐

تساعد على مقاومة نفاذ الماء إلى الخرسانة ولكنها لا تمنع نفاذ الماء تماماً. وللوصول إلى درجة عالية من مقاومة النفاذية ينبغى العناية بتصميم الخلطة الخرسانية ثم العناية بعمليتى الدمك والمعالجة.

❐ ويمكن تحسين منفذية الخرسانة من خلال المحاور الثلاثة الآتية ❐

١- *إضافات صادة للماء* **Water Proofing Agents**

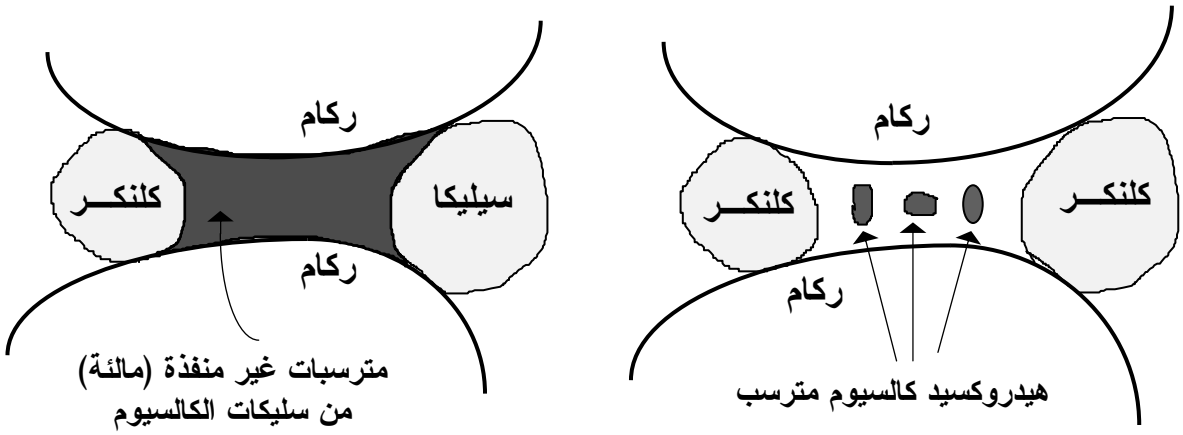
وهى تعمل على منع الخرسانة من امتصاص ماء المطر والمياه السطحية الملامسة ومن امثلتها زيوت البترول والشمع Wax وتضاف بنسبة تتراوح من ٠,١% إلى ٠,٤% من وزن الأسمنت. وتستخدم المواد البوليمرية أيضاً لهذا الغرض وذلك فى صورة دهانات لأسطح الخرسانة لسد الفجوات الهوائية والشروخ الشعرية الموجودة بالسطح.

٢- *استعمال الملدنات الفائقة* **Superplasticizers**

وهى تفيد هنا بطريقة غير مباشرة حيث أنها تعمل على تقليل ماء الخلط وبالتالى الحصول على أقل نسبة فراغات ممكنة بالخلطة ومن ثم تتحسن منفذية الخرسانة.

٣- *إستعمال مواد بوزولانية مالئة للفراغات* **Pozzolanic Materials (Filling Effect)**

والمواد البوزولانية هى المواد التى تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الحر الناتج من تفاعل الأسمنت مع الماء مكونة مركبات غير قابلة للذوبان مثل سيليكات وألومنيات الكالسيوم والتى تعمل على سد الفجوات الداخلية والمسام الشعرية ومن أمثلتها مادة غبار السيليكا Silica Fume وهى مادة تتكون من حبيبات دقيقة جداً مساحتها السطحية حوالى أربعة إلى خمسة أمثال المساحة السطحية للأسمنت (٢٠٠٠٠ سم^{٢}/جم) وهى ناتج ثانوى Byproduct فى صناعة سبائك السيليكون والفيروسليكون. وتتفاعل مادة غبار السيليكا مع هيدروكسيد الكالسيوم مكونة سيليكات الكالسيوم المماهة والتى لاتذوب فتؤدى إلى تقليل الفجوات الداخلية والمسام الشعرية كما هو موضح فى شكل (٦-٦).



عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على غبار السليكا — عملية الإماهة للخرسانة المحتوية على أسمنت بورتلاندى

شكل (٦-٦) دور غبار السليكا فى تحسين منفذية الخرسانة.

٦-٣-٤ إضافات لمنع إجتراف الأسمنت بفعل الماء Antiwashout Admixtures

عند صب الخرسانة تحت الماء يعمل الماء على إجتراف الأسمنت من الخرسانة وينتج عن ذلك نقص فى مقاومتها و تعكر فى المياه المحيطة بها. ولهذا السبب يستخدم هذا النوع من الإضافات التى تعتبر من أحدث أنواع الإضافات الموجودة فى السوق حالياً. و تعمل هذه الإضافات على تكوين جل فى الماء المحيط بحبيبات الأسمنت فتحميه من الإجتراف بفعل الماء كما تعمل على زيادة اللزوجة و التماسك بين جزئيات الخرسانة و تحسن من مقاومتها للإنفصال. ويستخدم هذا النوع من الإضافات أيضاً فى إنتاج الخرسانة عالية السيولة أو الخرسانة ذاتية الدمك حيث تقوم هذه الإضافات بمقاومة الإنفصال الحبيبى وزيادة التماسك للخرسانة. وتتكون هذه الإضافات من بوليمرات أكريليكية أو مركبات سليولوزية على هيئة بودرة قابلة للذوبان فى الماء وتضاف إلى الخلطة بنسبة تقريبية ١% من وزن الأسمنت.

ولتقييم كفاءة هذه الإضافات لمقاومة الخرسانة لإجتراف الأسمنت بفعل الماء يتم إجراء إختبار سقوط الخرسانة فى الماء حيث يتم وضع كمية من الخرسانة حجمها ٣ لتر فى سلة مثقبة ثم يسمح بسقوطها ورفعها خمس مرات خلال الماء الموجود فى وعاء قطره ٣٠ سم وإرتفاعه ٥٠ سم. يتم قياس النقص فى وزن الخرسانة نتيجة إجتراف الأسمنت و تقاس درجة العكارة للماء حيث ينبغى أن لا تزيد عن ٥٠ مجم/لتر كما يقاس الأس الهيدروجينى pH للماء والذى يجب أن يقل عن ١٢,٥. كذلك تقاس مقاومة الضغط للخرسانة بعد إخراجها من الماء ، حيث يلزم أن تكون النسبة بين مقاومة الضغط للخرسانة المصبوبة تحت الماء و مقاومة الضغط للخرسانة المماثلة المصبوبة فى الهواء أكبر من ٨٠%.

ويمكن تلخيص تأثير هذا النوع من الإضافات فيما يلى:

١- تتحسن قدرة الخرسانة على مقاومة إنفصال مكوناتها.

٢- تتحسن مقاومة الخرسانة للنزيف بدرجة كبيرة.

٣- الخرسانة المحتوية على هذه الإضافات يكون لها القدرة على الإنسياب والتسوية الذاتية.

٤- النوع السليولوزى من هذه الإضافات يعمل على تأخير الشك الإبتدائى والنهائى ، حيث قد يصل الشك الإبتدائى إلى أكثر من ١٨ ساعة بينما يزيد الشك النهائى إلى ما يقرب من ٤٨ ساعة.

٥- تؤدى هذه الإضافات إلى نقص مقاومة الضغط للخرسانة المصبوبة تحت الماء بنسبة قد تصل إلى ٢٠% إذا ما قورنت بمقاومة الضغط للخرسانة المماثلة و المصبوبة فى الهواء.

٦-٣-٥ إضافات لتلوين الخرسانة Coloring Admixtures

وهى عبارة عن أكاسيد معدنية Metallic Oxide وهى متوفرة فى صورة مواد طبيعية أو صناعية ويشترط فيها أن تكون خاملة كيميائياً وأن لا تزيد نسبتها عن ١٠% من وزن الخرسانة. ومن أهم المواد المستخدمة فى ذلك:

أكسيد الحديد الأسود و الكربون	**⇦ اللون الرصاصى أو الأسود**
ثانى أكسيد التيتانيوم	**⇦ اللون الأبيض**
أكسيد الكروم	**⇦ اللون الأخضر**
أكسيد الحديد الأحمر	**⇦ اللون الأحمر**
أكسيد الحديد الأصفر	**⇦ لون الكريم أو لون سن الفيل**
أكسيد الحديد البني	**⇦ اللون البنى**

٦-٣-٦ إضافات أخرى متنوعة Miscellaneous Admixtures

يوجد العديد من الإضافات الأخرى التى تستخدم مع الخرسانة نذكر منها الآتى:

١- إضافات حقن الخرسانة.

٢- إضافات للمساعدة فى ضخ الخرسانة.

٣- إضافات لمنع تكون الرطوبة بالخرسانة.

٤- إضافات لمنع تكون الفطريات والبكتريا على الأسطح الخرسانية للمنشآت المآئية.

٥- إضافات لمنع التآكل والصدأ فى حديد التسليح.

٦- إضافات لتقليل التفاعل القلوى بين الركام والأسمنت.

٧- إضافات لتكوين الغازات داخل الخرسانة.

٨- إضافات لتحسين التماسك بين حديد التسليح والخرسانة.

****

الباب السابع

الجير Lime

٧-١ مقدمة

الجير مادة من المواد اللاحمة التى تكون عادة فى صورة مسحوق ناعم يتحول بإضافة الماء إليه إلى عجينة لدنة يكون لها القدرة بمرور الوقت على التصلد والتحول إلى مادة متحجرة قوية وذلك نتيجة للتفاعلات الكيميائية والتغيرات الطبيعية المصاحبة لها. وهذه الخاصية تجعل المواد اللاحمة صالحة للاستخدام فى عمل المونة (خليط من المادة اللاحمة مع الركام الناعم) والخرسانة (خليط من المادة اللاحمة مع الركام الناعم والخشن) وكذلك الأحجار المختلفة. وعموماً الجير كمادة لاحمة متعددة الاستعمال، فيتم استخدامه فى أغراض مختلفة مثل:

- أعمال المباني كمونة لاحمة
- أعمال مونة البياض
- صناعة بعض أنواع الطوب الرملي
- أعمال استخراج الحديد
- بعض الصناعات الكيميائية وصناعة الورق
- أعمال المعالجات المختلفة للتربة الزراعية الحامضية بالأخص ..... إلخ .

ويعتبر الجير من أوائل المواد اللاحمة إستخداماً فى التاريخ وهو عبارة عن أكاسيد الكالسيوم الناتج من حرق الحجر الجيري (كربونات كالسيوم) عند درجة حرارة عالية تتراوح ما بين ٩٠٠ - ١٠٠٠ درجة مئوية، وينتج عن الاحتراق مادة بيضاء هى أكسيد الكالسيوم أو ما يعرف باسم الجير الحي. وحيث أنه يلزم لاستخدامه فى أعمال المباني والبياض والتشطيبات إضافة الماء إليه للحصول على مونة جيرية متحولاً من أكسيد كالسيوم إلى هيدروكسيد كالسيوم والذي ما يعرف بإسم الجير المطفي. وقد تكون العناصر التركيبية للحجر الجيري (المواد الأولية للجير) نقية بدون أى شوائب أخرى أى متكونة من كربونات الكالسيوم فقط، وقد تكون متحولة بنسب مختلفة إلى ما بين كربونات الكالسيوم و كربونات الماغنسيوم لأن الحجر الجيري من الصخور المتحولة من كربونات كالسيوم خالصة إلى كربونات ماغنسيوم، وقد تكون بها بعض الشوائب من السيليكا أو الألومينا أو أكسيد الحديد أو القليل من الكبريتات و القلويات ..... الخ . ولذلك يجب أن نعرف ما يسمى بدسامة الجير سواء للجير الحي أو الجير المطفي، حيث أنه يتم معرفة دسامة الجير حسب نسبة اختلاف كربونات الكالسيوم فيه كما يلي:

- جير دسم : تكون فيه نسبة أكاسيد الكالسيوم أكبر من ٨٠%.
- جير غير دسم : تكون فيه نسبة أكاسيد الكالسيوم أقل من ٧٠%.

٧-٢ أنواع الجير

ينقسم الجير من حيث طبيعة تصلده إلى نوعين هما:

- الجير الهوائي (غير المائي - غير الهيدروليكي)
- الجير الهيدروليكي (المائي)

الجير الهوائي:

هو النوع من الجير الذى يتصلب ويتجمد فى الهواء وليس تحت الماء وذلك عن طريق اتحاد ثاني أكسيد الكربون الموجود فى الجو مع هيدروكسيد الكالسيوم (الجير المطفي) والذي يتحول إلى كربونات كالسيوم.

وينقسم الجير الهوائي إلى:

١- جير حي: وهو عبارة عن أكاسيد الكالسيوم الناتجة من حرق الحجر الجيري عند درجة من ٩٠٠ إلى ١٠٠٠ °م

* كربونات كالسيوم (حجر جيري) $\xleftarrow{\text{٩٠٠- ١٠٠٠ °م}}$ أكسيد كالسيوم (جير حي) + ثاني أكسيد كربون .

$$Ca\,CO_3 \xrightarrow{900 - 1000\ ^oC} Ca\,O + CO_2$$

٢- جير مطفي : وهو عبارة عن الجير الحي المتحول كيميائيا عند إضافة الماء إليه أثناء الاستخدام إلى جير مطفي.

* أكسيد كالسيوم (جير حي) + ماء ⟵ هيدروكسيد كالسيوم متبلور ومتعلق + حرارة

$$CaO + H_2O \longrightarrow Ca\,(OH)_2 + 15.6\ K.Cal$$

وبدوره يتحول الجير المطفي بفعل تفاعل هيدروكسيد الكالسيوم مع ثاني أكسيد الكربون فى الهواء متحولا الى كربونات الكالسيوم.

* هيدروكسيد كالسيوم + ثاني أكسيد الكربون ⟵ كربونات الكاليسوم + ماء

$$Ca\,(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow Ca\,CO_3 + H_2O$$

الجير الهيدروليكي أو الجير المائي:

هذا النوع من الجير من المواد اللاحمة فى الماء والتى تحصل على قوتها ليس فقط عند وجودها فى الهواء ولكن أيضا عند تواجدها فى الماء. والجير الهيدروليكي يشبه الأسمنت بالنسبة لتصلده عن طريق إعادة تكوين البلورات المتحدة كيميائيا ذات الجزيئات المائية، وبعد تصلده يكون ثابتا ضد الماء. وعلى ذلك فتنتج صلادة الجير الهيدروليكي عن طريق تفاعل مكوناته مع الماء وتنشأ بلورات غير ذائبة من سيلكيات الكالسيوم

المماهة. وقد ينتج هذا النوع من الجير إما طبيعيا وذلك لأنواع من الأحجار الجيرية والمحتوية على مواد طينية بنسب عالية من السيليكا والألومينا، ويحضر هذا النوع بتكليس الحجر الجيري المطلوب نوعه عند درجة حرارة ١٢٠٠ °م، ثم يتم طفيه برش برذاذ من الماء بالكمية اللازمة فقط لذلك، وتقليبها وتركها حوالى عشرة أيام حتى يتم مرحلة الطفى كاملة، ثم ينخل ويعبأ فى شكاير على هيئة مادة ناعمة من المواد اللاحمة. أو ينتج من إضافة هيدروكسيد الكاليسوم (الجير المطفي) إلى مواد طينية طبيعية عالية السيليكا أو إلى خبث الأفران العالية.

ويصل الجير الهيدروليكي إلى مرحلة التصلد بالتفاعلات الآتية:

- بإتحاد الجير الهيدروليكي (حجر جيري به مواد طينية ذات سيليكا عالية) مع الماء.

الجير الهيدروليكي + ماء ⟵ سيليكات الكاليسوم المماهة + هيدروكسيد كالسيوم

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.\ 2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

- باتحاد ثاني أكسيد الكربون مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من التفاعل السابق وذلك فى حالة تصلده فى الجو.

هيدروكسيد كالسيوم + ثاني أكسيد الكربون ⟵ كربونات كالسيوم + ماء

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

وعموماً كل أنواع الجير الهيدروليكي تتصلد ببطء واضح تبدأ بعد عدة أسابيع للأنواع القوية منه وتنتهي بعد عدة شهور للأنواع من الجير الهيدروليكي الضعيف، ولكنها بعد تصلدها النهائي قد تصل إلى درجة المقاومة المطلوبة.

٧-٣ عملية التصنيع للجير

يتم تحضير الحجر الجيري المطلوب لصناعة الجير ثم نخله وتكليسه وحرقه فى أفران خاصة تسمى قمائن عند درجات الحرارة المطلوبة والتى تتراوح ما بين ٩٠٠ إلى ١٠٠٠ °م، وذلك لطرد وإزالة ثاني أكسيد الكربون ثم يتم تبريد أكسيد الكالسيوم الناتج من الحجر الجيري بطريقة تمنع عدم اتحاده مع ثاني أكسيد الكربون ثانية مع مراعاة عدم تعرضه للهواء الرطب مدة طويلة. ويعتمد تركيب وخواص الجير المنتج والمصنع على التركيب الكيميائي ونقاوة الحجر الجيري المستخدم فى التصنيع وعلى أسلوب الحرق وطريقة التصنيع. وهذا الجير المنتج من الحجر الجيري (كربونات كالسيوم) هو الجير الحي والذي يباع على هيئة كتل أو أحيانا على هيئة مسحوق ناعم معبأ فى شكائر ويلزم طفيه قبل استعماله فى مكان العمل وهو طازج، ويجب نخله لإزالة المواد الغريبة وأي شوائب به. ويجب الأخذ فى الاعتبار عدم مناولة أو نقل الجير الحي بالأيدي لتأثيرها الكاوي على الجلد. ولكن يوجد للجير الحي بعض العيوب منها:

- صعوبات كثيرة فى عملية الطفى للجير فى موقع العمل.
- تحلله السريع عند التخزين أو النقل لتأثير ثاني أكسيد الكربون بالهواء.
- صعب المناولة أو الاستخدام بحالته الحية.

٧- ٤ عملية طفى الجير الحي

قد يلزم طفى الجير الحي قبل استعماله كما ذكر فى عملية تصنيع الجير فى أعمال المونة أو البياض وذلك بإضافة الماء إليه حيث يتطلب نحو ثلث وزن الجير الحي المطلوب طفيه من الماء لتحويله إلى هيدروكسيد كالسيوم.

جير حي (أكسيد كالسيوم) + ماء ⟵ هيدروكسيد كالسيوم

$$CaO\ (75\%) + H_2O\ (25\%) \longrightarrow Ca(OH)_2\ (100\%)$$

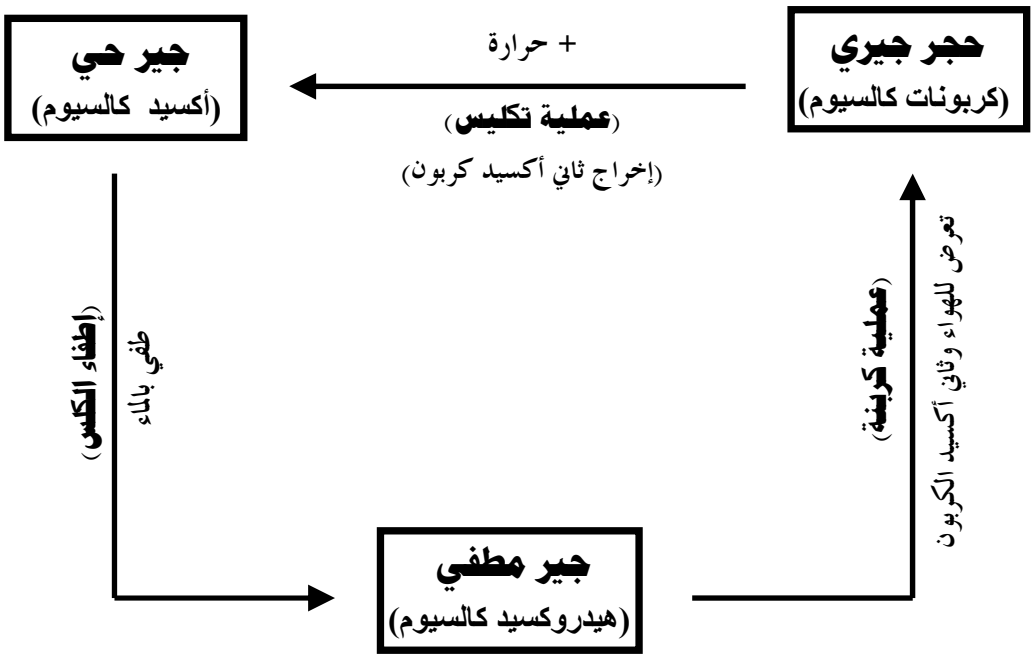
ويصحب هذه العملية ارتفاع فى درجة الحرارة وزيادة فى الحجم من ٢,٥مرة إلى ٣ مرات، وعند استخدام الجير المطفي يضاف إلى الجير الحي ما يعادل من ١,٥ إلى ٢ مرة من وزنه ماء ويترك نحو أسبوعين ليحصل على لدونة كافية للتشغيل، ولإتمام أيضا عملية تحوله كليا إلى هيدروكسيد كالسيوم وذلك حتى لا يصاب المبنى بالشروخ نتيجة لوجود أجزاء من الجير الحي غير المطفي الذى يتحول إلى هيدروكسيد كالسيوم فى البياض عن طريق الرطوبة والمسببة لشروخ واضحة.

كما أنه يمكن أن يتم طفى الجير فى المصنع أيضا ولكن بكمية الماء اللازمة فقط للتفاعل بدون زيادة ثم ينخل ويعبأ فى شكاير محمية ضد الرطوبة مع تخزينها المدة المناسبة قبل الاستخدام. وقد يتم استخدامه بإضافة الماء له مباشرة لتكوين العجينة المطلوبة للاستعمال المباشر أو بتركه عدة ساعات فى الماء قبل استعماله فى المونة مع

الرمل للوصول إلى أفضل قابلية للتشغيل للمونة المطلوبة، لأنه من عيوبه إعطاء مونة غير لدنة نسبيا لها قدرة قليلة بحمل الرمل إذا ما قورنت بالجير الحي.

ولكن للجير المطفي فى المصنع مميزات كثيرة منها:

- سهولة المناولة والاستعمال.
- سهولة الخلط المباشر مع الرمل بعمل المونة المطلوبة.
- إمكانية التخزين لمدد مناسبة ومطلوبة.



التكلس

كربونات كالسيوم (حجر جيري) + حرارة ⟵ أكسيد كالسيوم (جير حي) + ثاني أكسيد كربون

انطفاء الكلس

أكسيد كالسيوم (جير حي) + ماء ⟵ هيدروكسيد كالسيوم (جير مطفي) + حرارة

الكربنة

هيدروكسيد كالسيوم (جير مطفي) + ثاني أكسيد كربون من الهواء ⟵ كربونات كالسيوم + هيدروجين

شكل تخطيطي يوضح مراحل التكلس للجير وانطفاء الكلس والكربنة

٧-٥ استعمالات الجير

للجير استخدامات كثيرة أهمها هو استخدام الجير فى الأعمال الإنشائية غالبا كمونة جيرية تخلط بالرمل مكونة المونة المطلوبة وذلك لتقليل الانكماش والتكاليف. ويكون الخلط عموما بنسبة ٢:١ أو ١: ٢,٥ من الجير : الرمل بالحجم لكي تكون المونة سهلة التشغيل ولها صلابة كافية لتحمل الرطوبة. ويستخدم الجير أيضا فى أعمال البياض بمونة مكونة من جير ورمل فقط أو مونة مكونة من جير وجبس أو من جير وأسمنت ورمل. وقد يستخدم الجير أيضا فى أعمال المباني وأعمال صناعة الطوب الرملي وصناعة الحديد وبعض الصناعات الكيميائية.

ويجب أن يكون الجير المستعمل فى أعمال المباني مناسبا بالنسبة إلى القدرة على حمل الرمل وكمية المونة التى يعطيها. وبالنسبة للجير المستخدم فى أعمال الطلاء يلزم أن يكون مناسبا ومقبولا بالنسبة إلى معدل التفاعل مع الماء واللدونة وزمن الشك والصلادة والانكماش.

٧- ٦ اختبارات الجير

تجرى الاختبارات على الجير الحي والجير المطفي والجير الهيدروليكي حيث أن الاختبارات تجرى فى حالة الجير الحي على كمية تزن ٢٥كجم محضرة من ١٥٠كجم من أماكن مختلفة من الكمية الواردة، وفى حالة إجراء الاختبارات على الجير المطفي أو الجير الهيدروليكي تكون على كمية وزنها ٥كجم محضر من ٢٥كجم.

❶ اختبار التحليل الكيميائي (الجير الحي)

الغرض من هذا الاختبار تعيين كمية أكسيد الكالسيوم وأكسيد الماغنسيوم وباقي المواد الغريبة الأخرى كالسيليكا والألومينا وأكاسيد الحديد لتدل على مدى فاعلية الجير ودسامته ويجرى هذا الاختبار فى معامل الكيمياء حيث أنه يصعب إجراءه فى معامل المواد.

❷ اختبار تعيين الكمية المتخلفة بعد إطفاء الجير الحي

تتضمن هذه الطريقة طفى وزن معلوم من الجير الحي حوالى ٢,٥كجم ونخله بعد مضى ٢٤ساعة خلال منخلين مقاس فتحتهما ٠,٨٥٣مم و ٠,٢٩٥مم وتقدير النسبة المئوية المتبقية على كل من المنخلين.

❸ اختبار النعومة (الجير المطفي)

يجرى هذا الاختبار بنخل مقدار معلوم من الجير المطفي (١٠٠جرام) بتمريره خلال منخلين مقاس ٠,٢١مم و ٠,٠٨٩مم، وتقدير النسبة المئوية للمحجوز على كل منخل من هذين المنخلين.

❹ اختبار القابلية للتشغيل (الجير المطفي)

يجرى الاختبار بتجهيز عينة من الجير تزن ٥٠٠جرام ثم يتم خلط عينة الجير بكمية مساوية من الماء فى درجة حرارة ٢٠ إلى ٢٥ درجة مئوية، وتترك العجينة لمدة ٢٤ ساعة ثم يعاد خلط العجينة جيداً بتقليبها ثم وضعها فى القالب المعدني المخروطي الموضوع فى منتصف سطح جهاز قياس القابلية للتشغيل (Flow Table)، ثم يرفع المخروط فتنساب العجينة ليكون قطرها من أسفل ١١سم بعد إجراء صدمة واحدة من الجهاز والناتجة من تحرك السطح العلوي للجهاز بتحريك يد الجهاز دورة واحدة فإذا قل قطر العينة عن ذلك يضاف إليها قليلا من الماء للحصول على القطر ١١سم. ثم يدار الجهاز بمعدل صدمة واحدة لكل ثانية ويحدد عدد الصدمات والتى تصبح بعدها قطر العجينة ١٩سم. حيث أنه يعبر عن القابلية للتشغيل بعدد الصدمات التى يصبح بعدها قطر العجينة ١٩سم، ويكون هذا العدد أساسا لتحديد ومقارنة قابلية الجير للتشغيل حيث أنه كلما زاد هذا العدد قلت القابلية للتشغيل والعكس صحيح.

❺ اختبار سرعة معدل طفي الجير (الجير الحي)

لإجراء هذا الاختبار يستخدم جهاز يتكون من وعاء من الصيني حجمه حوالى ١٥٠سم^3 موضوع داخل وعاء أكبر منه حجما يملأ الفراغ الناتج بينهما بمادة عازلة للحرارة.

يوضع فى الوعاء الداخلي ٢٠جرام من الجير المطحون ويضاف إلى الجير ٢٠جم من الماء ويقفل الوعاء جيدا بسدادة مثبت بها ترمومتر ومدفون فى العجينة بطول كاف.

تلاحظ الزيادة فى درجة الحرارة، وعند وصولها لدرجة الحرارة القصوى، يتم تسجيل هذه الدرجة القصوى وكذلك الزمن الذى مر من لحظة إضافة الماء إلى الجير حتى الوصول إلى درجة الحرارة القصوى ليعبر عن سرعة طفى الجير.

❻ اختبار كيفية معرفة نوع عينة من الجير

للتعرف على نوع عينة من الجير لأي عينة تكسر قطعا صغيرة من ١,٥سم إلى ٤سم وتوضع فى سلة وتغمر فى الماء لمدة ٥ ثواني ثم ترفع وتصفى من الماء وتفرغ فى إناء آخر. فإذا حدث طفى بظهور انبعاث بخار وتمدد وتكسر للجير فى حدود خمس دقائق كان الجير هوائي (غير مائي). ويتم ذلك للجير الدسم قبل تفريغ العينة فى الإناء. وإذا حدث الطفى بعد مدة أكثر من خمس دقائق كان الجير هيدروليكي (مائي) متوسط وإذا حدث ذلك بعد مدة من ساعة إلى ساعتين يكون الجير هيدروليكي.

٧-٧ اشتراطات عامة على الجير

- يجب أن يراعى فى تخزين الجير أن يكون جافا وعدم جعله مطفياً بالهواء ويتأكد من ذلك بإضافة الماء إلى عينة منه ليتبين من طفيه أنه لا يزال جير حي طازج.
- يفضل توريد الجير فى الموقع على هيئة جير حي (اقتصاديا) حيث أنه عند طفى الجير يزيد وزنه من ٢-٣مرات، ولكن يعيب ذلك عدم التحكم فى جودة الجير ونعومته.
- يفضل ترك عجينة الجير مدة لا تقل عن ٢٤ساعة مغمورة فى الماء قبل استخدامه فى أعمال الإنشاءات لضمان طفى الجير بالكامل وللحصول على عجينة لدنة أكثر ما يمكن.
- لا يجرى اختبار تعين زمن الشك للجير حيث يتم شك الجير فى مدة طويلة تصل إلى ثلاثة شهور.
- كمية المياه النظرية اللازمة لطفي الجير تعادل من ثلث إلى نصف وزن الجير الحي. بينما كمية المياه المستخدمة اللازمة لطفي الجير ليعمل عجينة لدنة تساوى من ٢ إلى ٣ من وزن الجير الحي.
- يستخدم اختبار النعومة (تعيين الكمية المتخلفة بعد الإطفاء) كبديل عن اختبار التحليل الكيميائي حيث أن زيادة نسبة الجير الحي **CaO** فى المنتج النهائي تسبب زيادة نعومة الجير المطفي الناتج من عملية الإطفاء لأن زيادة **CaO** تؤدى إلى درجة حرارة أعلى وبالتالي إلى نعومة أكثر. كما أن زيادة **CaO** يؤدى إلى سرعة طفى الجير.

****

الباب الثامن

الجبس Gypsum

٨-١ مقدمة

الجبس يتكون أساساً من كبريتات الكالسيوم المائية (كاكب أ٤. ٢يد٢أ) ويتميز بإمكانية تسخينه إلى درجة حرارة ١١٠ - ١٣٠ °م حيث يفقد الجزء الأكبر من ماء التبلور ويصبح شرهاً لامتصاص الماء عند استخدامه ليستعيد تركيبه الكيميائي الأصلي فى مادة صلبة بعد التشكيل ويتوقف طبيعة الجبس الناتج على نقاوة المادة الخام ودرجة حرارة التسخين وإضافة أى مواد للتقليل أو الإسراع فى الصلابة.
تختلف نسبة الجبس النقي فى طبقات الجبس من موقع إلى آخر، إلا أن معدل نسبة الجبس النقي يتراوح ما بين ٩٥ – ٩٧% والباقي منها يتكون من الكربونات، السيليكا، الحديد، أكسيد الماغنسيوم، أكسيد الألمنيوم وبعض المواد الغير الذائبة. والجبس أول معدن يترسب بكميات كبيرة عند تبخر مياه البحار، وتتكون طبقات سميكة من الجبس تحت ظروف جيولوجية معينة (أحواض طبيعية شبه مغلقة أو مغلقة)، ويوجد الجبس غالباً مع الملح، كما تتواجد صخور الانهايدرايت مع الجبس، ويوجد الانهايدرايت على شكل طبقات مشابهة للجبس، وغالباً ما يوجد الاثنان معاً بالإضافة إلى تواجده مع حجر الجير والطفل.

٨-٢ استخراج الجبس

يتم التعدين بواسطة نظام المناجم المكشوفة في الأماكن التى توضع فيها الخامات المراد تعدينها على سطح الأرض أو بالقرب من سطح الأرض، أما فى المناطق ذات الغطاء الرسوبي السميك فانه يجب استخدام نظام المناجم تحت الأرض. معظم الجبس الخام لا يخضع لعمليات المعالجة ويستخدم كما هو موجود فى الطبيعة وتعتمد معالجة الجبس الخام على المجال الذى سوف يستخدم به فمثلاً الجبس المستخدم فى صناعة الأسمنت إذا كان يحتوى على شوائب طينية فإنه يكتفي بإزالة هذه الشوائب عن طريق الغسل بالماء بحيث لا يزيد قطر الحبيبة عن ٣,٨١ سم ولا يقل عن ٠,٩٥٢ سم، وأما الجبس الذى يستخدم لأغراض الزراعة فإنه يسحق إلى أقل من ٠,١٤٩ ميكرون. والجبس المستخدم لصناعة المصيص يحسن عن طريق التجفيف ثم الكلسنة ثم الطحن والنخل ويجب أن يكون الجبس المستخدم فى هذه الصناعة خالياً من الدولوميت و الحجر الجيري.

٨-٣ صناعة الجبس

تبدأ صناعة الجبس بتكسير خام الجبس المستخرج ثم طحنه إلى مسحوق ناعم وتسخينه وتكليسه حتى درجة حرارة معينة قد تصل إلى ٢٠٠ درجة مئوية فى أفران خاصة حيث يمكن التحكم فى درجة الحرارة بها وهنا قد ينفصل ماء التبلور كلياً أو جزئياً من كبريتات الكالسيوم المائية التى تمثل العنصر الأساسي للجبس. ومن هنا نستطيع أن نحصل على أنواع مختلفة من الجبس تتوقف على المادة الخام المستخدمة ودرجة نقاوتها، وأسلوب ودرجة حرارة التسخين، والإضافات المستخدمة للتحكم فى زمن الشك من تأخير أو تعجيل، أو الإضافات المستخدمة لجعل الجبس لدن وسهل التشغيل.

٨-٤ أنواع الجبس

ينقسم الجبس من حيث مصدر استخراجه وتصنيعه وطرق استخدامه إلى ثلاثة أنواع هى:

- **الجبس الخام**
- **الجبس الزراعي**
- **الجبس الصناعي**

الجبس الخام: وهو الجبس الموجود طبيعيا فى القشرة الأرضية، ويستخدم هذا الجبس بعد استخراجه مباشرة دون أن تجرى عليه أية عمليات صناعية. يستخدم الجبس على هذه الصورة فى صناعة الأسمنت البورتلاندى كمادة تتحكم على سرعة تصلب الأسمنت، كما يستخدم الجبس فى صناعة الورق كمادة مالئة، إضافة إلى استخدامه فى تجهيز بعض المواد الملونة.

الجبس الزراعي: وهو الجبس الذى يستخدم فى استصلاح الأراضي القلوية والملحية، ويشترط هذا النوع من الجبس أن يحتوى على أكثر من ٧٠% بالوزن من كبريتات الكالسيوم.

الجبس الصناعي: وهو موضع دراستنا فى هذا الكتاب وتعريف الجبس الصناعي أنه المادة الناتجة من عملية تكليس خام الجبس المكون أساساً من (كاكب أ٤. ٢يد٢أ) عند درجات حرارة مناسبة لنزع مقدار معين من ماء تبلوره لتصبح كبريتات الكالسيوم فيه متحدة بنصف جزيء من الماء ويكون تركيبها النهائي (كاكب أ٤. ٠,٥يد٢أ).

و يصنع الجبس الصناعي من الجبس الخام عن طريق مروره بعدة مراحل لتصنيعه حيث يستخرج الجبس الخام من صخور القشرة الأرضية التى تظهر أحيانا على سطح الأرض، أو يستخرج من تحت سطح الأرض حيث يتم تكسيره إلى أحجار مناسبة لتغذية الأفران أو القمائن، ثم يبدأ بعد ذلك عمليات الحرق أو التكليس وتستخدم فيها الأفران الدوارة أو القمائن التى تتراوح درجة حرارتها (١٨٠،١٢٠ درجة مئوية)، حيث يفقد الجبس حوالى ثلاثة أرباع ماء التبلور، ثم يصنف الجبس بعد ذلك بالنسبة لدرجة نعومته ويعبأ فى أكياس أو عبوات مناسبة وإنزاله إلى الأسواق لغرض استخدامه في البناء. ويستعمل حجر الكلس فى صناعة الجص، بعد حرقه بمعزل عن الهواء ثم طحنه ليستعمل فى البناء.

يصنف الجبس الصناعي إلى ثلاثة أنواع:

١- الجبس البلدي: الجبس العادي، لونه رمادي أو وردى مائل للاصفرار، يمر الجبس البلدي جميعه من منخل قياسي فتحته ١,٢٥ مم ولا يتبقى منه على المنخل القياسي ٠,١٥ مم أكثر من ٢٥% بالوزن. ويشترط أن لا تقل فيه نسبة كبريتات الكالسيوم المحتوية على نصف جزئ من الماء (كاكب أ٤. ٠,٥يد٢أ) عن ٦٠% بالوزن، كما لا تقل نسبة أكسيد الكالسيوم عن ثلثي نسبة ثالث أكسيد الكبريت، كما لا تزيد نسبة كلوريد الصوديوم على ٢% بالوزن ولا تقل نسبة الماء المتحد عن ٣% ولا تزيد عن ٩% بالوزن ولا تزيد نسبة الشوائب عن ٢٠% بالوزن، ويتم تصنعيه عند درجة حرارة تتراوح ما بين ١٢٠-١٨٠درجة مئوية.

٢-جبس المصيص: يمتاز بلونه الأبيض الناصع وهو أكثر نعومة من الجبس البلدي، ويستخدم هذا النوع فى طبقة الضهارة لبياض الأسقف والحوائط الداخلية، ونسبة كبريتات الكالسيوم لا تقل عن ٨٠%، و يتم تصنيعه عند درجة حرارة تتراوح ما بين ١٢٠-١٧٠درجة مئوية.

٣-جبس التشكيل: لونه أبيض ناصع وتزيد درجة نعومته عن كل من الجبس البلدي والمصيص. يستخدم هذا النوع فى صناعة التماثيل وأعمال الزخرفة وفى صناعة الخزف، كما يستخدم جبس التشكيل فى جراحة العظام وتجهيز الأربطة الطبية، ونسبة كبريتات الكالسيوم به لا تقل عن ٩٠%، ودرجة الحرق تكون ما بين ١٢٠-١٣٠درجة مئوية.

ويوضح جدول ٨-١ مواصفات وخواص أنواع الجبس الصناعي.

جدول ٨-١ مواصفات وخواص أنواع الجبس الصناعي

الخواص	جبس عادى	جبس المصيص	جبس التشكيل
اللون	رمادي أو وردى أو مائل للصفرة	أبيض ناصع اللون	أبيض ناصع اللون
درجة النعومة	يمر جميعه من المنخل ١,٢٥مم لا يحجز أكثر من ٢٥% على المنخل ٠,١٥مم	يمر جميعه من المنخل ١,٢٥مم لا يحجز أكثر من ٢٠% على المنخل ٠,١٥مم	يمر جميعه من المنخل ١,٢٥مم لا يحجز أكثر من ٥% على المنخل ٠,١٥مم
زمن الشك	٥-١٥ دقيقة	١٥-٦٠ دقيقة	١٥-٤٠ دقيقة
مقاومة الانحناء	٢٤ ساعة: ١٠ كجم/سم^2 ٧ أيام: ٢٠ كجم/سم^2	٢٤ ساعة: ١٥ كجم/سم^2 ٧ أيام: ٣٠ كجم/سم^2	١ ساعة: ١٥ كجم/سم^2 ٧ أيام: ٤٠ كجم/سم^2
نسبة كبريتات الكالسيوم نسبة كلوريد الصوديوم نسبة الماء المتحد نسبة الشوائب	لا تقل عن ٦٠% بالوزن لا تزيد عن ٢% بالوزن من ٣-٩% بالوزن لا تزيد عن ٢٠% بالوزن	لا تقل عن ٨٠% بالوزن لا تزيد عن ١% بالوزن من ٤-١٠% بالوزن لا تزيد عن ٥% بالوزن	لا تقل عن ٩٠% بالوزن لا تزيد عن ١% بالوزن من ٥-٩% بالوزن لا تزيد عن ٢% بالوزن

٨-٥ خواص الجبس

تتوقف خواص الجبس على:

١- درجة نقاوة المواد الخام.

٢- أسلوب ودرجة حرارة التسخين.

٣- المعالجة الكيميائية أثناء عملية صناعة الجبس.

٤- الإضافات، التى تضاف إلى الجبس للحصول منه على خواص معينة مثل:

- لسهولة عملية التشغيل: الإضافات مثل الطين - الجير المطفي.
- لتأخير زمن الشك: الإضافات مثل الغراء - المواد العضوية - حامض النيتريك.
- لتعجيل زمن الشك: الإضافات مثل كبريتات الكالسيوم - كبريتات الألومنيوم.
- لزيادة التماسك مع البياض: الإضافات مثل نشارة الخشب.

والخواص الأساسية للجبس تبعا للمواصفات القياسية تحدد عن طريق:

١- اللون: يوجد جبس التشكيل وجبس المصيص أبيض اللون، بينما الجبس العادي يميل إلى الصفرة أو الرمادي.

٢- النعومة: يمر الجبس من منخل ١,٢٥ مم ويجب أن لا يزيد المحجوز منه على منخل ٠,١٥مم عن ٢٥% بالنسبة للجبس البلدي، و٢٠ % بالنسبة لجبس المصيص و٥% لجبس التشكيل.

٣- زمن الشك: يجب ألا يقل زمن الشك عن ١٥ دقيقة ولا يزيد عن ساعة لجميع أنواع الجبس.

٤- مقاومة الانحناء: يجب أن لا تقل مقاومة الانحناء للجبس العادي عن ١٠ كجم/سم^2 بعد ٢٤ساعة، وبالنسبة لجبس المصيص لا تقل عن ١٥ كجم/سم^2. ولكن يجب ألا تقل بعد ٧ أيام عن ٢٠كجم/سم^2 للجبس العادي، و ٣٠ كجم/سم^2 لجبس المصيص، و ٤٠ كجم/سم^2 لجبس التشكيل.

٥- مقاومة الضغط: تتراوح مقاومة الضغط للجبس ما بين ٥٠-٢٠٠ كجم/سم^2 فى حالة استخدامه فى الأغراض الإنشائية، والعوامل التى تؤثر على قوة تحمله للضغط هى:

- المواد المضافة للتحكم فى زمن الشك ودرجة الحرارة اللازمة للحرق بالأفران.
- كمية الماء المستخدم فى خلط الجبس حيث أن ماء الخلط يؤدى إلى نقص القوة.
- درجة الرطوبة بالجبس، حيث أن زيادتها تؤدى إلى ضعف الجبس.
- يحصل الجبس على ٥٠% من قوته بعد حوالى ٢٤ ساعة ومقاومة مونة الجبس والرمل أقل من مقاومة الجبس فقط.
- تحمل الجبس للشد ضعيف جداً ولذلك يضاف نشارة الخشب لزيادة تماسكه.

٦-٨ استعمالات الجبس

للجبس استخدامات مختلفة كالآتي:

١- بياض الحوائط: تستخدم مونة الجبس والرمل فى طبقة البطانة و عجينة الجبس والماء فى طبقة التشطيب السطحية.

٢- يستخدم الجبس مع الأسمنت فى أعمال المونة والبياض.

٣- صناعة وحدات بناء من الجبس مثل البلوكات الجبسية والبلاطات المسلحة بالأسلاك ... إلخ.

٤- يستخدم كمادة عازلة للحريق للمنشآت الحديدية.

٥- الجبس من المواد الخفيفة ويمكن استخدامه فى عمل الحوائط و القواطيع الداخلية مع الوضع فى الاعتبار مراعاة عزله عن الماء.

٦- يستخدم فى عمل التماثيل وأغراض الديكور.

٨-٧ اختبارات الجبس

تؤخذ عينات منفصلة من الجبس الصناعي لكل كمية مقدارها خمسة أطنان أو أقل وتؤخذ العينات من وسط العبوة أو بالقرب من سطحها أثناء عملية الشحن أو عند التفريغ فى الموقع بحيث تمثل الإنتاج. تخلط الكميات المأخوذة خلطاً جيداً ويستخلص منها ما لا يقل عن خمسة كجم بواسطة التجزيء الربعي ويراعى حفظ هذه الكمية فى إناء نظيف جاف محكم القفل حتى لا تتسرب إليها الرطوبة قبل إجراء الاختبارات المطلوبة عليها. ويراعى إجراء الاختبارات اللازمة قبل مرور ١٥ يوماً من استلام العينة.
ويجرى على الجبس اختبارات عديدة أهمها:

- النعومة
- كمية الماء القياسية اللازمة للشك
- زمن الشك
- معاير الكسر (مقاومة الانحناء)

❶ اختبار النعومة للجبس

الغرض من الاختبار

ترجع أهمية نعومة الجبس إلى أن التفاعل يحدث على السطح الخارجي للحبيبات فبزيادة المساحة السطحية يزداد سرعة معدل التفاعل وبالتالي تزداد المقاومة النهائية للمادة اللاصقة.

خطوات الاختبار

١- يتم تجفيف مقدار من الجبس من العينة المطلوب اختبارها فى فرن تجفيف عند درجة حرارة ٤٥ درجة مئوية حتى يثبت وزنها.
٢- يؤخذ من الجبس المجفف عينة وزنها ١٠٠جم، وتنخل على المنخلين مقاس ١,٢٥ مم و ٠,١٥ مم. يشترط أن يمر الجبس جميعه من المنخل الأول و يوزن المحجوز منه على المنخل الثاني.
٣- يتم تعيين درجة النعومة بحساب النسبة المئوية للمحجوز على المنخل القياسي ٠,١٥ مم.

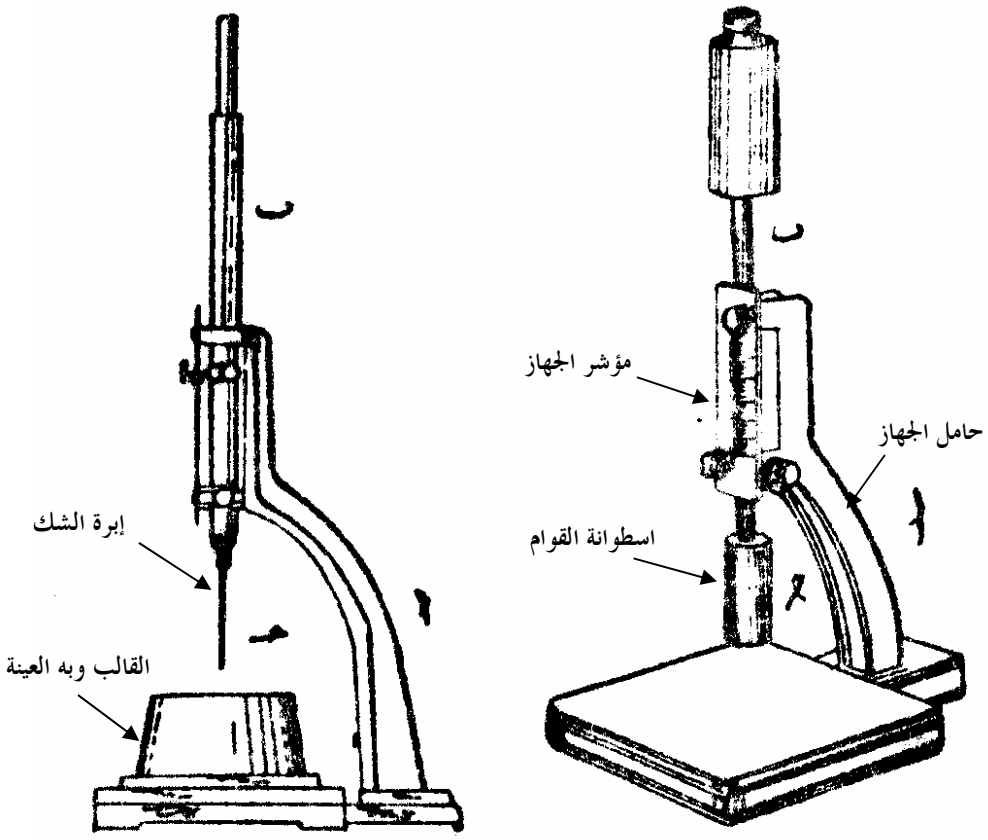
❷ اختبار تعيين كمية الماء القياسية اللازمة لشك الجبس

تعريف

كمية الماء القياسية هي حجم الماء مقدراً بالملليلتر الذي يجب خلطه بمقدار ١٠٠ جرام من الجبس الصناعي ليكون عجينة قياسية تستطيع اسطوانة جهاز فيكات المعدل أن تهبط فيها ٣٠ ± ٢ ملليمتر.

الغرض من الاختبار

تعيين كمية الماء اللازمة لشك عجينة من الجبس ذات قوام قياسي لاستعمالها فى تحضير عينات اختبار زمن الشك للجبس واختبار معاير الكسر فى الانحناء.



جهاز فيكات لتعيين كمية الماء القياسية وزمن شك الجبس

الأجهزة المستخدمة

جهاز فيكات المعدل وبقية الأجهزة المستخدمة فى اختبارات الأسمنت سابقاً.

خطوات الاختبار

١- ينثر ٢٠٠ جرام من عينة الجبس المختبرة على كمية معينة من الماء تتراوح ما بين ٥٠-٧٠% من وزن الجبس، وتترك العينة لمدة دقيقتين.

٢- يقلب الخليط لمدة دقيقة حتى يخلط خلطاً جيداً، ثم يملأ قالب جهاز فيكات بعجينة الجبس ويسوى السطح.

٣- يوضع قالب الجهاز فوق قاعدة جهاز فيكات ويدلى الطرف الاسطواني ببطء حتى يلامس سطح العينة ثم يترك ليهبط تحت تأثير وزنه.

٤- تؤخذ القراءة على التدريج الموجود أمام العلامة الأفقية على اسطوانة جهاز فيكات لتدل على ارتفاع الطرف الاسطواني لجهاز فيكات عن قاع القالب.

٥- يعاد الاختبار بناء على نتيجة الاختبار السابق مع عمل عجينة أخرى بكمية ماء مضافة أكبر أو أقل من الاختبار السابق للوصول إلى كمية الماء التى تعطى عجينة الجبس ذات القوام القياسي.

٦- تكون كمية الماء القياسية المطلوبة هى كمية الماء اللازم إضافتها إلى ١٠٠جم من الجبس حتى تسمح لاسطوانة الجهاز أن تحدث اختراق قدره ٣٠ ± ٢ مم فى قالب جهاز فيكات المعدل.

❸ اختبار تعين زمن الشك للجبس

تعريف

زمن الشك للجبس هو الفترة التي تمضي من لحظة نثر الجبس على الماء إلى اللحظة الـــتي لا يـــستطيع طرف إبرة جهاز فيكات الهبوط إلى مسافة ٣ ملليمتر من قاع قالب الجهاز.

الغرض من الاختبار

هو تعين زمن الشك لعجينة الجبس، أي الزمن الذي عنده تفقد عجينة الجبس لدونتها.

الأجهزة المستعملة

كل الأجهزة السابقة المستخدمة فى اختبار تعين زمن الشك للأسمنت.

طريقة الاختبار

١- ينثر ٢٠٠جم من الجبس على كمية الماء التى تعطى عجينة قياسية من الجبس فى الاختبار السابق مع تشغيل ساعة الإيقاف عند إضافة الجبس إلى الماء وتترك العجينة لمدة دقيقتين.

٢- تخلط عجينة الجبس جيدا لمدة دقيقتين ثم توضع لتملأ قالب جهاز فيكات ويسوى السطح.

٣- يوضع قالب جهاز فيكات والموضوع فوق اللوح المعدني تحت الطرف الاسطواني والذي يتدلى منه إبرة فيكات ثم يدلى طرف الإبرة حتى يلامس سطح العجينة ببطء ثم يترك ليهبط تحت تأثير الوزن الكلى للطرف الاسطواني وتؤخذ قراءة التدريج أمام العلامة على الاسطوانة فتدل على بعد طرف الإبرة عن القاع.

٤- تترك العجينة فترة ثم يحرك القالب قليلا حتى لا تهبط الإبرة فى النقطة الواحدة أكثر من مرة ويعاد عملية نفاذ الإبرة فى عجينة الجبس.

٥- تكرر هذه العملية عدة مرات حتى تصل إلى اللحظة التى يبعد فيها طرف إبرة جهاز فيكات ٣مـــم من قاع القالب.

٦- يسجل الزمن المبين بساعة الإيقاف فيكون زمن الشك للجبس المختبر.

❹ اختبار تعيين معاير الكسر فى الانحناء للجبس

الغرض من الاختبار

هو تحديد مقاومة الجبس للانحناء وذلك بحساب معاير الكسر.

الأجهزة المستخدمة

١- قوالب لتحضير عينات منشورية مقاس ٤٠×٤٠×١٦٠مم لاختبارها فى الانحناء.

٢- ماكينة اختبار.

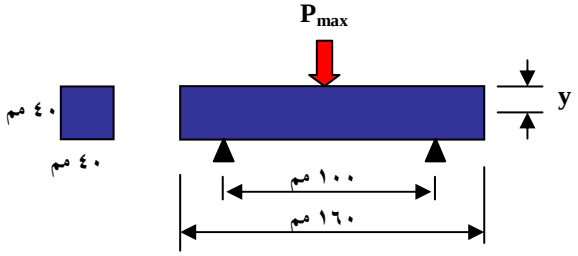
خطوات الاختبار

١- ينثر ١٧٠٠ جم من الجبس المراد اختباره على كمية من الماء حسب النسب القياسية السابق تحديدها فى الاختبار السابق لتحضير عجينة قياسية من الجبس ويتم الخلط كما سبق فى الاختبارات السابقة.

٢- تصب عجينة الجبس فى قوالب سبق تزيتها. وبعد تمام شك العجينة ترفع القوالب وتحفظ عند درجة حرارة حوالى ٢٥°م ورطوبة نسبية لا تقل عن ٥٠%.

٣- تختبر العينات السابق تجهيزها بعد مضى ٢٤ساعة وبعد مضى ٧ أيام من صبها فى ماكينة اختبار الانحناء.

٤- يحدد حمل الكسر P_{max} ومنه يحسب إجهاد الكسر فى الانحناء (f_m) والذي يسمى معاير الكسر من العلاقة التالية.



$$f_m = \frac{M\,y}{I}$$

حيث:

f_m : معاير الكسر - كج/سم^2

M : عزم الانحناء المؤثر - كج.سم = $P_{max}\times 2,5$

P_{max} : حمل الكسر - كج

y : نصف ارتفاع الكمرة = ٢ سم

I : عزم القصور الذاتي للقطاع سم^4 = $(٤)^4/١٢$

بالتعويض فى المعادلة تصبح قيمة معاير الكسر:

$$f_m = 0.234\ P_{max} \qquad kg/cm^2$$

****

الباب التاسع

المواد البيتومينية Bituminous Materials

البيتومين مادة تستخرج طبيعياً أو صناعياً أى أن له مصدرين:

١- مصدر طبيعي مثل بحيرات الإسفلت الصخري وخلافه ويوجد بها البيتومين مختلطاً ببعض الأتربة والصخور البركانية ويعرف باسم الإسفلت.

٢- مصدر صناعي من البترول الخام بطريقة التقطير بالتخلخل Vacuum Distillation ويسمى البيتومين المستخرج من البترول الخام وينقسم إلى أربعة أقسام هى:

أ. البيتومينات الصلبة Solid Bitumen ويكون قوامها شبه صلب ويمكن إنتاجها على درجات متفاوتة فى الصلابة حيث كلما زاد تبخر المواد المتطايرة حصلنا على بيتومين يزيد فى الصلابة ويمكن تصنيف البيتومين حسب درجة الصلابة إلى ثلاثة أنواع:

- سريعة التصلب **Rc**
- متوسطة التصلب **Mc**
- بطيئة التصلب **Sc**

ب. البيتومينات السائلة Cut-Back Bitumen و هي عبارة عن بيتومينات صلبة ممزوجة ببعض المذيبات.

ج. المستحلبات Bituminous Emulsions و هي عبارة عن بيتومينات مستحلبة فى الماء.

د. البيتومين المنفوخ Blown Bitumen و هو بيتومين يضغط فيه الهواء ولا يستعمل فى أعمال الطرق.

وهناك عدة اختبارات يجب إجراءها على البيتومين مثل:

١- اختبار الغرز
٢- اختبار اللزوجة
٣- اختبار المط أو الممطولية
٤- اختبار درجة الاشتعال والاحتراق
٥- اختبار التطاير
٦- اختبار مارشال

١- اختبار تعيين درجة الغرز للبيتومين
Penetration Test

الهدف من الاختبار

هو معرفة درجة الغرز للبيتومين والتى تحدد قوام المادة البيتومينية المطلوب استعمالها فى الرصف. وتقاس درج الفرز بمقدار المسافة التى تخترقها إبرة قياسية عمودية على سطح العينة تحت تأثير وزن مقداره ١٠٠ جرام ولمدة ٥ ثوان فى درجة حرارة ٢٥ درجة مئوية. ومقاس الغرز يعرف بأرقام كل منها عبارة عن ٠,١ من المليمتر.

خطوات الاختبار

١- يتم تسخين البيتومين للدرجة التى تجعل صبه فى الوعاء ممكناً مع مزج العينة جيداً حتى يتم الوصول إلى درجة التجانس المطلوبة.

٢- تصب العينة فى الأوعية الخاصة بالاختبار وهى عبارة عن علب بسيطة عمقها حوالى ٥٠:٧٠ مم ويتم تغطية العينات وتركها لمدة لا تقل عن ساعة ونصف حتى تبرد وتصل إلى درجة حرارة الغرفة.

٣- يتم كشف العينات ووضعها فى حمام مائي درجة حرارته ٢٥ درجة مئوية لمدة لا تزيد عن ساعتين لحين إجراء الاختبار.

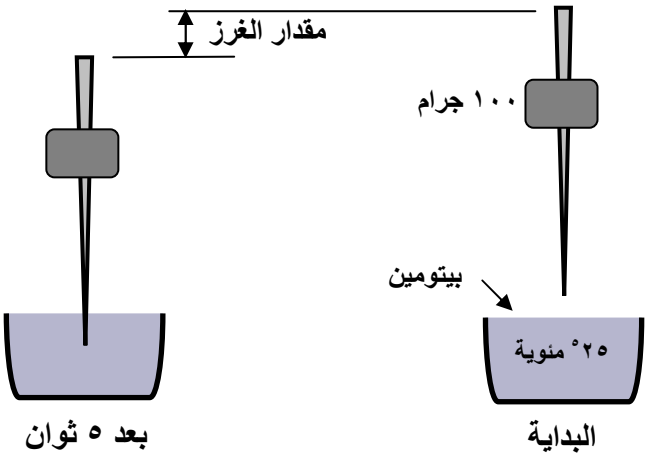
٤- يتم إخراج العينة من الحمام المائي وننشف سطح العينة ثم توضع فوق قاعدة جهاز الغرز وتضبط الإبرة بحيث تلامس سطح العينة وتضبط قراءة المؤشر على الصفر.

٥- يسمح للإبرة بالهبوط تحت تأثير وزنها (١٠٠ جرام) لتخترق العينة لمدة ٥ ثوان بعدها تؤخذ القراءة من على المؤشر.

٦- تكرر الخطوة السابقة فى أماكن مختلفة على العينة وتؤخذ القراءة فى كل مرة ثم نأخذ المتوسط ليعبر عن درجة غرز البيتومين (قوام البيتومين).

وتجربة الغرز تعتبر من أهم الاختبارات فى مجال الرصف لتحديد قوام المادة البيتومينية وتعرف المادة بدرجة غرزها فمثلاً بيتومين ٤٠/٣٠ أى بيتومين درجة غرزه تتراوح بين ٣٠ إلى ٤٠، كما أن درجة الغرز تحدد المادة التى تلائم جو البلاد التى تستعمل فيه، ففى البلاد الحارة يستعمل أسفلت صلب أى درجة غرزه قليلة (٣٠/٢٠) حتى لا يصبح الإسفلت سائلاً تحت عجلات العربات والعكس فى البلاد الباردة حيث يستعمل أسفلت لين أى درجة غرزه عالية حتى لا يتشقق بفعل البرودة (١٠٠/٨٠).

وإذا لم يوجد أسفلت له درجة الغرز المطلوبة يمكن الوصول إلى النوع المناسب بإضافة أسفلت صلب إذا أريد خفض درجة الغرز أو إضافة زيت ملين مثل زيت فلكس Flux Oil إذا أريد رفع درجة الغرز.



رسم تخطيطي يوضح فكرة اختبار الغرز

جهاز الغرز وبه الإبرة طول ٥٠مم وقطر ١مم

حمام مائي

أوعية الاختبار

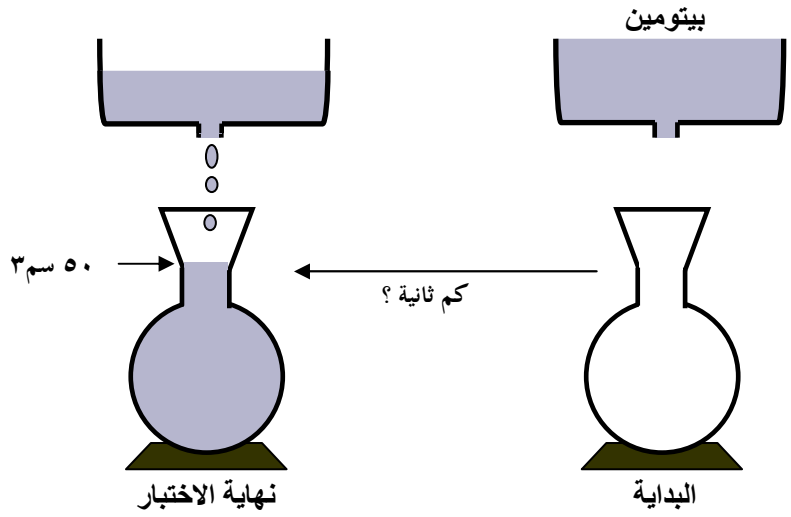
٢- اختبار تعيين اللزوجة للبيتومين
Viscosity Test

الغرض من الاختبار

هو تعيين درجة لزوجة المواد البيتومينية وذلك لبيان مدى سرعة صب المواد البيتومينية المستعملة من الأواني الحاوية لها وكذلك مدى تخلل هذه المواد للفراغات الموجودة بين الأحجار المستعملة ومدى سرعة ملء هذه الفراغات.

طريقة الاختبار

تقاس اللزوجة بالزمن بالثانية الذى يمضى خلال نزول ٥٠ سم٣ من المادة تحت درجة حرارة معينة من ثقب قطره ١٠مم. ويجب ملاحظة ثبات درجة حرارة المادة طوال مدة الاختبار حيث أن للحرارة تأثير كبير على لزوجة المادة.



رسم تخطيطي يوضح تعيين درجة اللزوجة

٣- اختبار تعيين درجة المط أو الممطولية
Ductility Test

الهدف من الاختبار:

هو قياس قابلية البيتومين للمط وللاستطالة وتقاس درجة المط بمقدار سحب العينة فى الجهاز قبل أن تنقطع تحت سرعة معينة (٥٠مم/دقيقة) وفى درجة حرارة معينة (٢٥ مئوية).

خطوات الاختبار :

١- يتم تسخين البيتومين للدرجة التى تجعله يسهل صبه فى القالب، ثم يصب فى القالب (بعد دهانه بطبقة خفيفة من الزيت حتى يسهل فكه بعد ذلك) إلى أن يمتلأ ويكشط الزائد من البيتومين بسكين ساخنة.

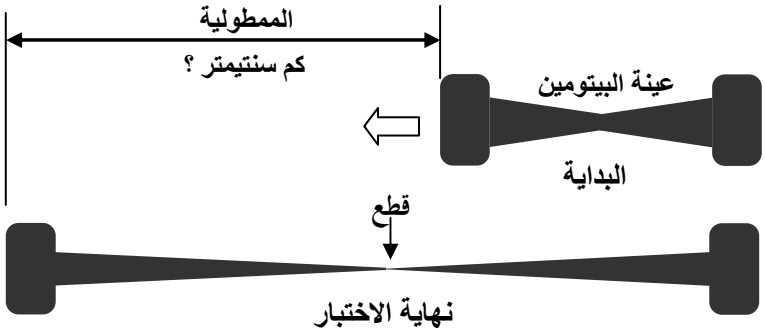
٢- يترك البيتومين لمدة تتراوح من ٣٠ إلى ٤٠ دقيقة حتى يبرد تماماً إلى درجة حرارة الغرفة.

٣- يوضع القالب وبه البيتومين فى حمام مائي درجة حرارته ٢٥ مئوية لمدة ساعة ونصف.

٤- تفك الأجزاء الجانبية للقالب وكذلك قاعدته ويوضع الجزءان المتبقيان من القالب بما فيها من بيتومين فى ماسكين فى الجهاز.

٥- يتم سحب العينة بسرعة ٥سم/دقيقة وفى درجة حرارة ٢٥ مئوية فيتحرك أحد الماسكين ويسحب العينة.

٦- نستمر فى سحب العينة إلى ما قبل أن ينقطع جزأي العينة وعند ذلك يتم قياس الطول الذى وصلت إليه العينة بالسنتيمتر. ودرجة مط البيتومين أو مرونته تتراوح بين ٥ إلى ١٠٠ سم للأنواع المختلفة وللحصول على رصف جيد يجب أن لا تقل المرونة عن ٥٠ سم نظراً لأن زيادة المرونة تمنع المادة من التشقق فى الجو البارد.



رسم تخطيطي يوضح طريقة تعيين الممطولية

قالب اختبار الممطولية

جهاز اختبار الممطولية

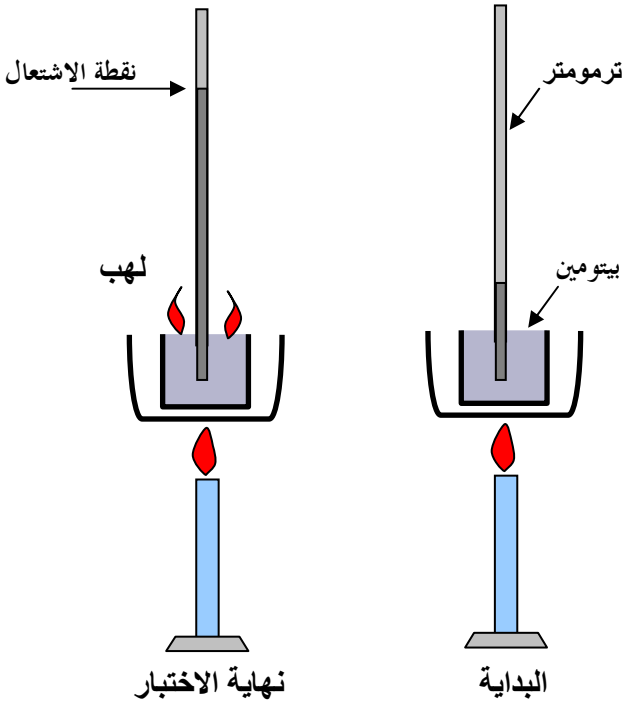
٤- درجة الاشتعال والاحتراق
Flash Point Test

الفكرة والهدف من الاختبار:

هو تحديد درجة الحرارة التى ينبغي الوصول ليها عند تسخين البيتومين والتى عندها يمكن أن تشتعل الأبخرة الناتجة من التسخين مما يسبب مشاكل وحوادث خطرة. وإذا كانت درجة اشتعال عينة ما عالية فإن ذلك يبين أن مادة هذه العينة لا تحترق عند تسخينها إلى درجة السيولة وأقل درجة اشتعال للبيتومين المستخدم للرصف هو ١٧٥ درجة مئوية. وعموما فإن درجة حرارة خلط البيتومين هى ١٦٢ درجة مئوية وتكون درجة اشتعال المواد البيتومينية حوالى ٢٠٠ مئوية.

خطوات الاختبار:

١- يسخن البيتومين المراد اختباره لدرجة السيولة ثم يسكب فى البوتقة حتى العلامة الموجودة فيها من الداخل ويجب عدم تجاوز هذه العلامة خوفاً من انسكابه بعد أن يسخن ويتمدد.
٢- تثبت البوتقة فى مكانها فوق مصدر حراري ويتم وضع ترمومتر رأسي بداخل البوتقة ويتم استمرار التسخين حتى تصل درجة الحرارة إلى ١٦٠ مئوية عندها يتم إمرار شعلة على سطح البوتقة لمدة ثانية ، ونكرر ذلك كل حوالى ٣ درجات مئوية.
٣- مع استمرار التسخين نلاحظ ظهور لهب فوق سطح البيتومين عند إمرار الشعلة وهذا يعنى أن الأبخرة قد احترقت. نتركها تحترق لمدة ٥ ثوان على الأقل.
٤- نسجل درجة اشتعال البيتومين وهى درجة الحرارة التى يسجلها الترمومتر عند احتراق الأبخرة.



رسم تخطيطي يوضح طريقة تعيين درجة الاشتعال

صورة جهاز الاحتراق

٥- اختبار التطاير
Volatility Test

يبين هذا الاختبار مقدار الفقد من الزيوت وخلافه (عدا الماء) الموجودة بالمادة البيتومينية عند تسخينها. ولمعرفة الفقد بالتطاير عند التسخين أهمية كبرى من الوجهة العملية إذ أنه إذا فقد البيتومين عند تسخينه كمية كبيرة من مكوناته وجب استعمال نسبة أكبر منه عند الخلط وإذا فقد كثيراً من مواده المتطايرة وأثر ذلك على خواصه البيتومينية وجعله أكثر صلابة وجب إضافة مواد أخرى إليه بدل المواد المتطايرة حتى يصبح صالحا للاستعمال. وعادة فإن نسبة الفقد بالتطاير المسموح بها لا تتجاوز ٠,٥ % بالوزن.

٥- اختبار مارشال
Marshall Test

الهدف من الاختبار :

١- تعيين نسبة البيتومين المثلى التى يجب إضافتها فى الخلطة الإسفلتية.
٢- تعيين أكبر قيمة ثبات Stability للخطلة الإسفلتية.
٣- تعيين مقدار التدفق أو الانسياب Flow للخلطة الإسفلتية.

وفى هذا الاختبار تقاس مقاومة عينة اسطوانية من الخلطة الإسفلتية للتغيرات اللدنة Plastic Deformation حيث تكون العينة محاطة كما بالشكل ويستخدم هذا الاختبار فى حالة الخلطات الساخنة وبحيث لا يزيد مقاس حبيبات الركام الخشن عن ٢٥مم.

وينقسم هذا الاختبار إلى جزأين رئيسين :-

أ- التحليلات الخاصة بالكثافة والنسبة المئوية للمسام Density – Voids Analysis.
ب- اختبار تحديد الثبات والتدفق Stability – Flow test

ويعرف الثبات **Stability** بأنه الحمل الأقصى بالكيلو جرام الذى يمكن أن تتحمله العينة المدكوكة عند درجة حرارة ٦٠ مئوية.

أمام التدفق أو الإنسياب **Flow** فهو مقدار التغير فى طول العينة بوحدات كل منها يساوى ٠,٢٥ مم بداية من عدم وجود حمل وحتى يصل هذا الحمل إلى قيمته القصوى أثناء اختبار الثبات.

وفى نهاية الاختبار يجب تحديد وزن العينة الإسفلتية وكثافتها ودرجة الثبات والتـــدفق – بالإضـــافة إلى تحديد نسبة المسام ونسبة المسام فى الركام ونسبة المسام المملوءة بالبيتومين. وفيما يلي وصف لخطوات إجراء الاختبار.

خطوات الاختبار :

١- يتم تجهيز كميات متساوية من الركام المتدرج تكفى لعمل من ٦ إلى ٨ عينات من قوالب مارشال (حوالى ١,٥ كيلو جرام لكل عينة) . قطر القالب ١٠ سم وارتفاعه ٦,٢٥ سم . ويتم تجفيـــف عينات الركام فى فرن تجفيف عند درجة حرارة ١٠٥ إلى ١١٠ مئوية لمدة ٢٤ ساعة حتى يثبـــت وزنها.

٢- يسخن البيتومين عند درجة ١٦٥ مئوية ثم يضاف إلى الركام المتـــدرج بنـــسب مختلفـــة (٤% ، ٤,٥% ، ٥ % ، ٥,٥% ، ٦ % ، ٦,٥%) من الوزن الكلى للعينة ويعمل عدد ٦ قوالب لكل نسبة بيتومين ويتم خلط البيتومين مع الركام خلطاً جيداً حتى يصبح الخليط متجانس.

٣- تترك القوالب حتى تصبح درجة الحرارة ١٣٥ مئوية عندئذ توضع مباشـــرة فى ماكينـــة الـــدمك وتدمك العينة ٧٥ مرة على الوجهين مع مراعاة وضع ورقة نشاف فى أسفل القالب قبل استعماله.

٤- بعد انتهاء الدمك يترك القالب ليبرد فى الهواء ، بعد ذلك تستخرج العينة مـــن قالـــب مارشـــال وتوضع فى الهواء لمدة ٢٤ ساعة قبل اختبارها ثم يتم وزن العينة فى الهواء وكذلك وزنهـــا فى المـــاء ومنها يمكن حساب الكثافة الكلية للعينة جم/سم^{٣} .

٥- بعد مرور ٢٤ ساعة أخرى يتم معالجة العينات فى حمام مائي درجة حرارته ٦٠ مئوية لمدة نـــصف ساعة لثلاث عينات ولمدة ٢٤ ساعة للثلاث عينات الأخرى (وذلك لكل نسبة بيتومين)

٦- يتم استخراج العينات الثلاث الأولى من الحمام المائي ويجفف سطحها ويجرى عليها الاختبار مباشرة بوضعها فى جهاز مارشال بين فكي الماكينة ويتم التشغيل ونسجل قراءة المؤشر عند الانهيار ونعـــين مقدار الثبات للخلطة **Stability** وكذلك نعين مقدار التدفق من مؤشر التدفق نكرر نفس العمل على العينات الثلاث الثانية المتروكة فى الحمام المائي لمدة ٢٤ ساعة ومـــن ثم نحـــسب الفاقـــد فى الثبات:

$$\text{الفاقد فى الثبات} = \frac{\text{الثبات بعد نصف ساعة} - \text{الثبات بعد ٢٤ ساعة}}{\text{الثبات بعد نصف ساعة}} \times ١٠٠$$

٧- يتم تكرار الاختبار على جميع العينات بنسب البيتومين المختلفة المذكورة سابقاً.

٨- يتم رسم المنحنيات الخاصة بالنتائج وذلك لتحديد نسبة الإسفلت المثلى التى يجب إضافتها للخلطة الإسفلتية.

حدود القبول لنتائج اختبار مارشال:-

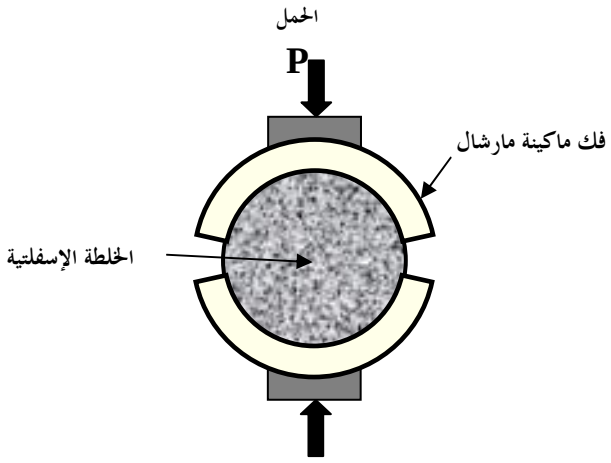
١- لا يقل الثبات عن ١٠٠٠ كيلو جرام.

٢- لا يزيد التدفق عن ٥ مليمتر.

٣- لا يزيد الفاقد فى الثبات عن ٢٥%.

ماكينة مارشال

جهاز دمك العينات الإسفلتية



فكي ماكينة مارشال

الباب العاشر

خواص و اختبارات الخرسانة الطازجة

Properties and Testing of Fresh Concrete

١٠-١ مقدمة Introduction

تمر الخرسانة من لحظة إضافة الماء لها وحتى إنتهاء عمرها الإفتراضى بالمراحل الثلاثة الآتية:

أ- الخرسانة الطازجة Fresh Concrete

وهى الخرسانة التى تبدأ من لحظة إضافة الماء إلى مكونات الخرسانة الجافة وحتى لحظة حدوث زمن الشك الإبتدائى. وتمتاز هذه المرحلة بالقدرة على الخلط والنقل والصب.

ب- الخرسانة الخضراء Green Concrete

وهى الخرسانة المتكونة فى الفترة من بداية شك الأسمنت وحتى بداية تصلد الخرسانة أى فى حدود ٢٤ ساعة. وفى هذه المرحلة لا يُسمح للخرسانة بالخلط والنقل والصب لأنها تكون قد شكت كما إنها لا تقوى على تحمل أى نوع من الإجهادات.

ج- الخرسانة المتصلدة Hardened Concrete

وهى تبدأ بتصلد الخرسانة (أى عند عمر ٢٤ ساعة) وحتى نهاية عمرها الإفتراضى وتمتاز هذه المرحلة بأنها بداية زيادة المقاومة الرئيسية للخرسانة (مقاومة الضغط) وقدرتها على مقاومة الأحمال بمرور الزمن.

وتتوقف خواص الخرسانة على التركيب البنائى لها والذى بدوره يتوقف على نوع المواد المكونة للخرسانة وكميتها وكذلك النسب بينها وأيضاً مدى تجانس هذه المواد وتوزيعها وكيفية تماسكها مع بعضها وكذلك تتوقف خواص الخرسانة أيضاً على الظروف التى تتم فيها عملية تصلد الخرسانة. كما تتوقف جودة الخرسانة أيضاً على بعض خواص الخلطة الخرسانية والتى تجعلها قابلة للتشغيل والتشكيل والصب والدمك بأقل جهد ممكن. وبصفة عامة فإن خواص الخرسانة وهى فى حالتيها الطازجة والمتصلدة يجب أن تحقق المواصفات والشروط الخاصة لكل نوع من الخرسانة على حده.

١٠-٢ تحضير عينات اختبارات الخرسانة الطازجة

يجب أن تكون العينة الكلية المأخوذة من الخرسانة الطازجة ممثلة تماماً للخلطة كما يجب أن لا يقل حجمها عن ٣٠ لتر (٠,٠٣ متر مكعب) وتتكون هذه العينة من كميات مأخوذة من أماكن متفرقة من الخلطة. وتحضر العينة من الخلطة المجهزة فىموقع العمل Job site بالخلط اليدوي أو من الخلطة المجهزة بالخلاط الميكانيكى - وفى الحالة الأولى تجمع أجزاء العينة الكلية من أماكن متفرقة موزعة توزيعاً منتظماً فى الخلطة مع تجنب حروف الخلطة حيث يحتمل تواجد الإنفصال الحبيبى للخرسانة Segregation. أما فى حالة الخرسانة المخلوطة خلطاً ميكانيكيا فيفرغ الخلاط على دفعات متساوية تقريبا وتحضر أجزاء العينة من ثلاث كميات على الأقل تؤخذ أثناء تفريغ الخلاطة.

وتنقل العينة بعد ذلك إلى مكان الإختبار وتخلط خلطاً تاما على سطح غيرمنفذ للماء بجاروف أو مايماثله لضمان تجانسها وبذلك تكون العينة معدة للإختبار مباشرة. ويجب مراعاة حماية عينة الإختبار من التأثيرات الجوية مثل الشمس والرياح والأمطار والأتربة وذلك فى الفترة بين تحضير العينة وإجراء الإختبارات التى يجب أن لا تزيد عن ١٥ دقيقة ويراعى أن تسجل مع كل عينة البيانات التالية:

- تاريخ ووقت أخذ عينة الإختبار.
- الطريقة المستخدمة فى خلط الخرسانة.
- نسب مكونات المواد المكونة لخلطة الخرسانة.
- مكان الخلط.
- درجة الحرارة والظروف الجوية.

ويلاحظ أن خواص الخرسانة الطازجة المطلوبة لمنشأ خرسانى معين تحدد طبقا لطبيعة المنشأ وكذلك أبعاد القطاعات الخرسانية وكثافة أسياخ التسليح وتكنولوجيا تصنيع الخرسانة من حيث طريقة الخلط والنقل والصب والدمك والمعالجة.

١٠-٣ الخواص الرئيسية للخرسانة الطازجة

للخرسانة الطازجة أربعة خواص رئيسية هى:

١- قوام الخلطة الخرسانية	Consistency
٢- قابلية التشغيل	Workability
٣- الانفصال الحبيبي	Segregation
٤- النزيف (النضح)	Bleeding

١- القـــوام Consistency

❐ تعريف القـوام:

- يعبر قوام الخرسانة الطازجة عن درجة بلل الخرسانة Degree of Wetness فمثلاً يقال خرسانة جافة القوام Dry أو صلبة القوام Stiff أو لدنة القوام Plastic أو مبتلة القوام Wet أو رخوة القوام Sloppy.

- ويمكن القول بأن قوام الخرسانة يعبر عن السيولة النسبية للخرسانة Relative Fluidity أى أنه يبين النسبة بين كمية ماء الخلط وكمية المواد الجافة بالخرسانة.

❐ الغرض من تحديد القوام:

هو ضمان الحصول على خرسانة ذات درجة سيولة أو لدونة تتناسب مع مختلف الأعمال الإنشائية. كما أنه من أهم وأبسط الخواص التى تساعد على التأكد من إنتظامية خلطات الخرسانة الطازجة وتجانسها وضبط جودتها وذلك قبل الصب مباشرة.

❐ العوامل التى تؤثر على القوام:

- نسبة مكونات الخرسانة: من ماء ورمل وزلط وأسمنت حيث يزداد الهبوط بزيادة محتوى الماء فى الخلطة. أو بزيادة نسبة الأسمنت. أو لصغر نسبة الرمل إلى الزلط (أنظر شكل ١٠-١).

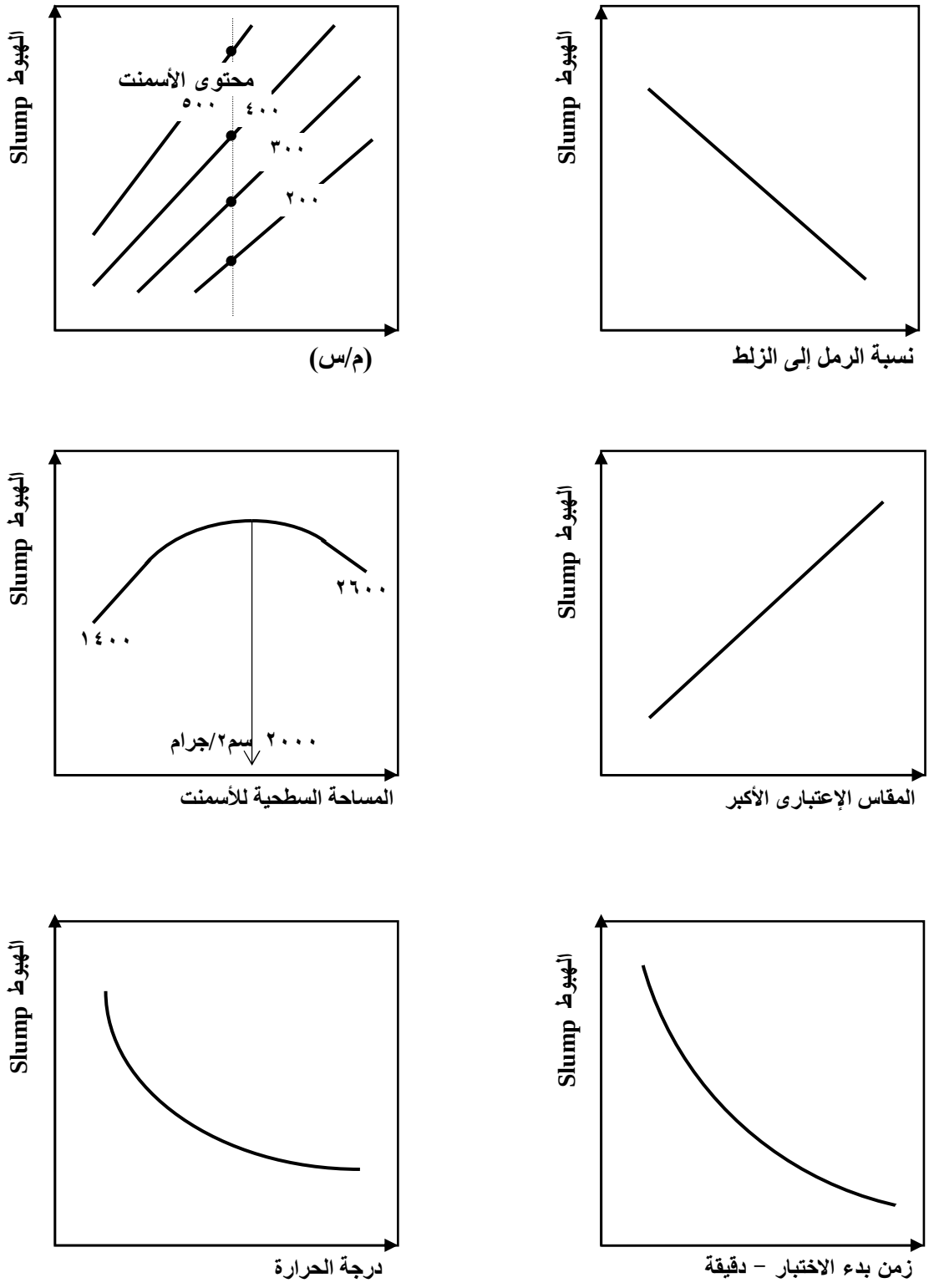
- نعومة الأسمنت (المساحة السطحية للأسمنت) حيث يزداد الهبوط بزيادة المساحة السطحية للأسمنت وحتى حوالى ٢٠٠٠ سم^{٢}/جم ثم تقل بعد ذلك بشرط ثبوت جميع العوامل الأخرى فى الخلطة الخرسانية كما هو مبين بالمنحنى شكل (١٠-١).

- المقاس الإعتبارى الأكبر للركام حيث يزداد الهبوط بزيادة ذلك المقاس ويقل كلما صغر حجم الحبيبات.

- الزمن بين الإنتهاء من خلط الخرسانة وبين إجراء إختبار الهبوط حيث يقل الهبوط بزيادة ذلك الزمن كما بشكل (١٠-١).

- حرارة الجـو: حيث يقل الهبوط كلما زادت حرارة الجو (نتيجة تبخر جزء من ماء الخلط).

- الإضافات: تعمل الإضافات على تحسين قوام الخرسانة بدرجات متفاوته وأهم هذه الإضافات الملدنات Superplasticizers هى مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسبة ١ - ٣% من وزن الأسمنت.



شكل (١٠-١) العوامل التى تؤثر على قوام الخرسانة.

❐ طرق تعيين القوام:

يوجد ثلاثة طرق رئيسية لتعيين قوام لخرسانة هى:

* **هبوط الخرسانة بعد إزالة قالب التشغيل Slump Test.**
* **إنسياب الخرسانة الطازجة بعد تعرضها لإهتزازات ترددية Flow Test.**
* **اختراق جسم معدني للخرسانة تحت تأثير وزنة Ball Penetration Test.**

أولاً: اختبار الهبوط Slump Test

- **الغرض من الاختبار: تحديد قوام الخلطة الخرسانية بتعيين مدى هبوطها بعد تشكيلها على هيئة مخروط ناقص وذلك إما فى المعمل أو فى موقع التنفيذ. وذلك للتأكد من نسب مكونات الخلطة الخرسانية حيث أن أي تغيير فى نسبة الأسمنت أو كمية الماء والركام يؤثر على قيمة الهبوط. ويعتبر هذا الاختبار من أبسط وأفضل الوسائل لضبط الجودة فى محطات الخلط وفى مواقع التنفيذ.**

- **قالب الإختبار: عبارة عن مخروط ناقص ومصنوع من معدن متين بسمك ١,٥ مم على الأقل مفتوح من أعلى ومن أسفل ، قطر فتحته العليا ١٠ سم والسفلى ٢٠سم وإرتفاعه ٣٠ سم كما بشكل (١٠-٢).**

- **قضيب الدمك: وهو سيخ من الصلب بقطر ١٥مم وطول ٦٠ سم.**

شكل (١٠-٢) قالب اختبار الهبوط وقضيب الدمك.

- طريقة إجراء الاختبار:

- ينظف السطح الداخلى للقالب بحيث لا توجد به أى مياه عالقة أو آثار خرسانية.
- يوضع القالب على سطح أفقى أملس غير مُنفذ للماء على أن يثبت جيداً.
- يملأ القالب على ثلاث طبقات إرتفاع كل منها يساوى ثلث إرتفاع القالب تقريبا على أن تدمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك ٢٥ مرة موزعه تقريبا على السطح وبشرط أن ينفذ القضيب إلى الطبقة التى تحتها.
- بعد الانتهاء من دمك الطبقة العليا للقالب يسوى سطحها مع حافة القالب.
- يرفع القالب بعد ملئة مباشرة فى إتجاه رأسى وببطء وعناية كما بشكل (١٠-٣).
- يقاس مقدار الهبوط Slump بعد رفع القالب مباشرة وهو الفرق بين إرتفاع القالب وإرتفاع مركز عينة الخرسانة الطازجة كما بشكل (١٠-٤). يتم توصيف القوام إما جاف أو صلب أو لدن أو مبتل أو رخو وذلك طبقاً لقيمة الهبوط كما هو موضح بجدول (١٠-١).
  أما جدول (١٠-٢) فيوضح قيم استرشادية للقوام ودرجة الدمك فى بعض الإنشاءات المختلفة.

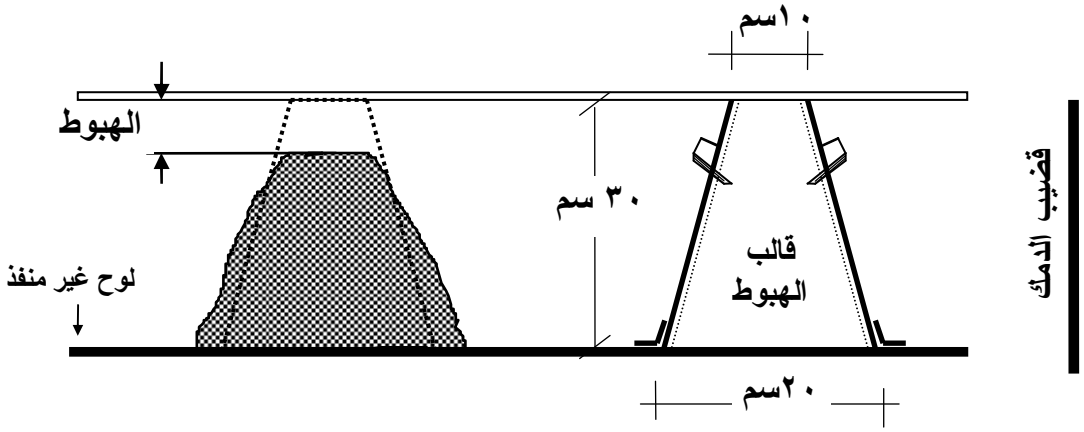
ملاحظـــات:

- يجب أن لا يزيد المقاس الإعتبارى الأكبر للركام المستخدم عن ٤٠ مم.
- يجب أن لا تزيد الفترة بين إنتهاء الخلط وبداية إجراء الإختبار عن دقيقتين.
- تحدث ثلاثة أشكال مختلفة لحالة الهبوط فقد يكون هبوطاً حقيقياً True Slump أو هبوط قصShear Slump أو إنهيار Collapse كما بشكلى (١٠-٥) و (١٠-٦).
- يراعى اعادة الإختبار على عينة أخرى فىحالة حدوث إنزلاق جانب Slipping فى العينة أو إنهيار .Collapse إذا تكرر ذلك فى حالة إعادة الإختبار فيقاس الهبوط مع تسجيل ذلك مع النتيجة.

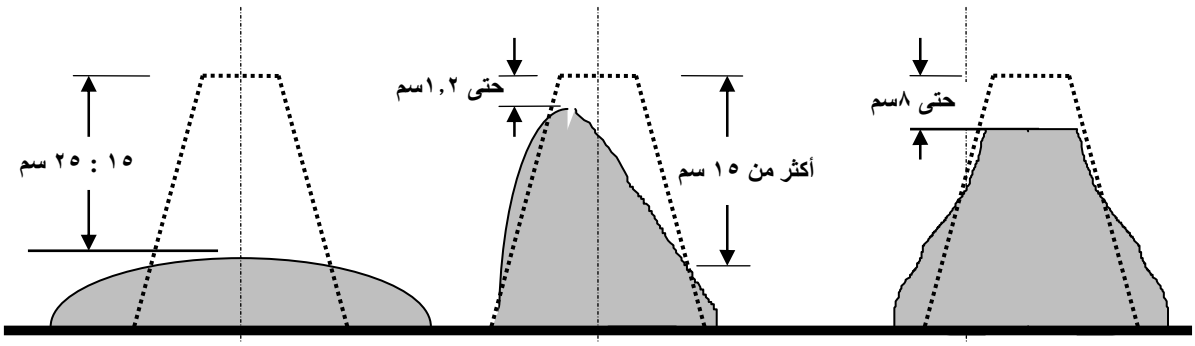
جدول (١٠-١) قيم الهبوط المناظرة لدرجات قوام الخرسانة المختلفة.

الهبوط (مم)	صفر-٢٠	١٠-٤٠	٣٠-١٢٠	١٠٠-٢٠٠	١٨٠-٢٢٠
قوام الخلطة الخرسانية	جاف	صلب	لدن	مبتل	رخو
Consistency	Dry	Stiff	Plastic	Wet	Sloppy

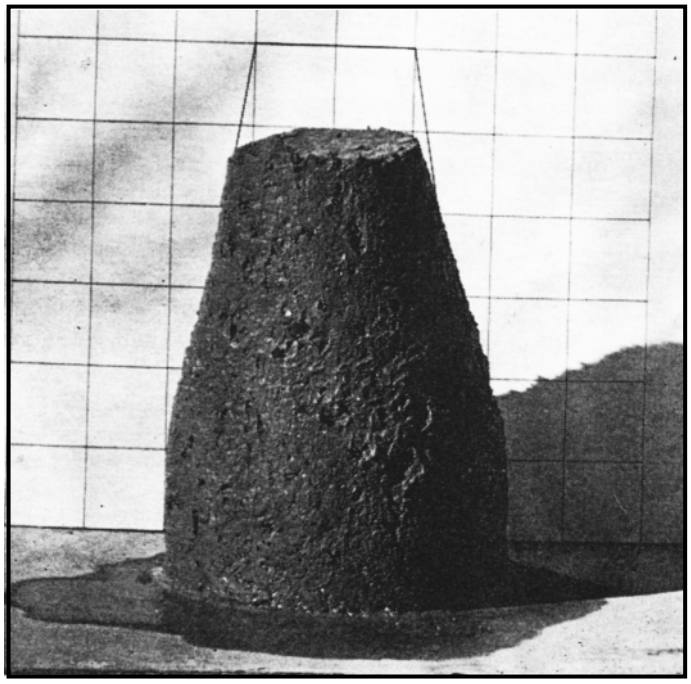
شكل (١٠-٣) رفع القالب بعد ملئه فى إتجاه رأسى.



شكل (١٠-٤) قياس الهبوط لتحديد قوام الخرسانة الطازجة.



شكل (١٠-٥) أشكال الهبوط المختلفة.

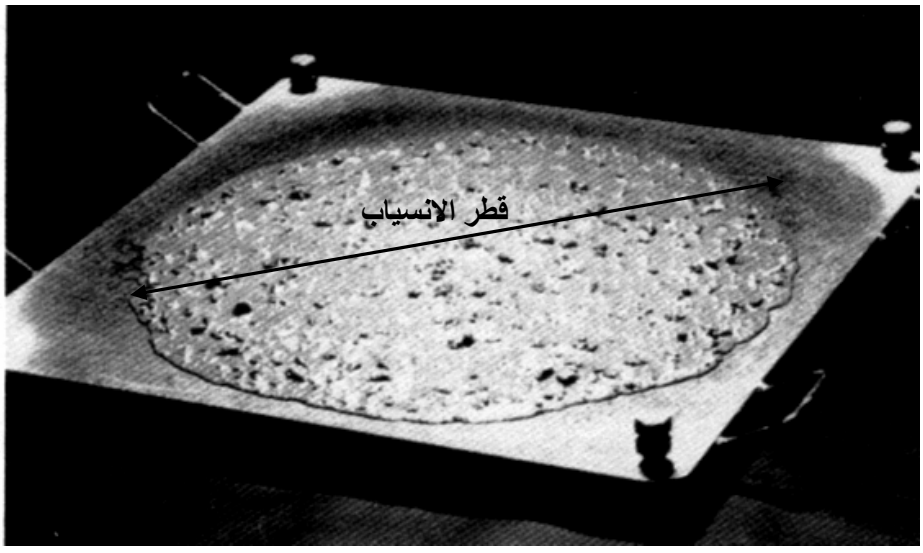


شكل (١٠-٦) نموذج للهبوط الحقيقى.

جدول (١٠-٢) القوام ومحتوى الأسمنت ومقاس الركام المناسب للأنواع المختلفة من الإنشاءات.

نوع العنصر الإنشائي	درجة الدمك	الهبوط (مم)
خرسانة كتلية.	دمك ميكانيكي	صفر- ٢٥
القواعد الخرسانية خفيفة التسليح ومتوسطة التسليح. قطاعات خرسانية خفيفة التسليح.	دمك ميكانيكي	٢٥ : ٥٠
قطاعات خرسانية متوسطة وعالية التسليح. قطاعات خرسانية خفيفة التسليح.	دمك ميكانيكي دمك يدوي	٥٠ : ١٠٠
قطاعات خرسانية كثيفة التسليح.	دمك خفيف	١٠٠ : ١٢٥
أساسات عميقة وخرسانة قابلة للضخ مع استخدام إضافات كيميائية (ملدنات أو ملدنات فائقة)	دمك خفيف	١٢٥ : ٢٠٠

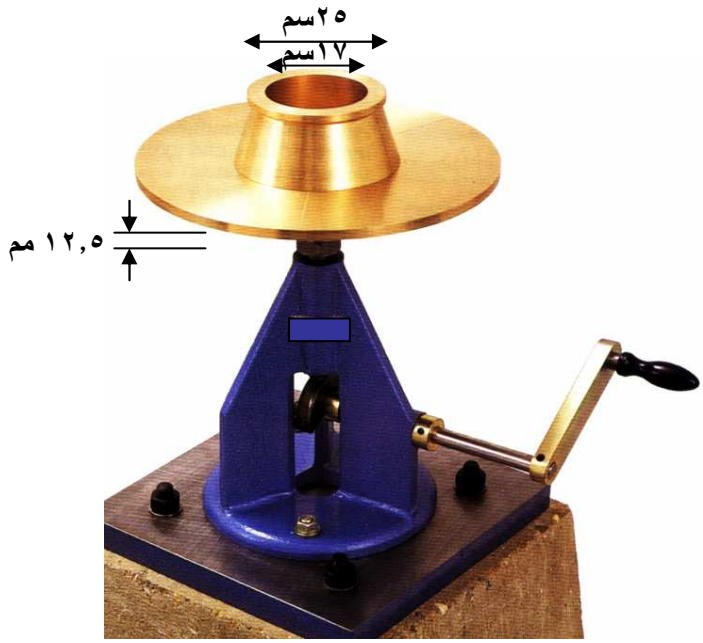
و تجدر الإشارة أنه فى حالة الخرسانة ذات درجة السيولة العالية أو التى يزيد فيها الهبوط عن ٢٢ سم مثل الخرسانة ذاتية الدمك فإنه يتم قياس انسياب الهبوط وهو القطر المتوسط للخرسانة المنسابة بعد رفع مخروط الهبوط. وفى الخرسانة ذاتية الدمك فيشترط أن لا يقل انسياب الهبوط عن ٦٠ : ٧٠ سم كما بشكل (١٠-٧).



شكل (١٠-٧) انسياب الهبوط فى الخرسانة ذاتية الدمك.

ثانياً : اختبار الانسياب Flow Test

يختص هذا الاختبار بتعيين النسبة المئوية لانسياب الخرسانة والتى تُعبر عن حالة القوام وذلك بإجراء إهتزاز ترددى لمخروط ناقص من الخرسانة موضوع على لوح معدنى وتسجيل مدى إنتشار أو انسياب الخرسانة كنسبة مئوية من القطر الأصلي لقاعدة المخروط.



شكل (١٠-٨) جهاز الإنسياب لتحديد القوام.

الأجهزة :

- **قالب الإختبار : وهو عبارة عن قالب معدنى على شكل مخروط ناقص ويكون هذا القالب مفتوحاً من أعلى ومن أسفل بمستويين عموديين على محور المخروط.**
- **قرص الإنسياب (Flow Table) ويثبت القرص على قاعدة جاسئة بإرتفاع من ٤٠-٥٠ سم بوزن ١٥ كج على الأقل.**

طريقة إجراء الإختبار:

١- **ينظف القرص جيداً بالماء ثم يجفف بعناية حيث لا يبقى به أثر لماء التنظيف.**

٢- **يوضع القالب مثبتاً فى وسط القرص وذلك بالضغط على مقبضية باليد.**

٣- **يُملأ القالب على طبقتين إرتفاع كل منهما يساوى نصف الإرتفاع تقريبا على أن تدمك كل طبقة بواسطة قضيب الدمك القياسى ٢٥ مرة موزعة تقريبا بالتساوى على سطح المقطع المستعرض للقالب بشرط أن يَنفُذ القضيب إلى الطبقة التى تليها (يراعى أن يكون نصف عدد ضربات الدمك فى إتجاه مائل إلى الخارج والنصف الثانى فى إتجاه رأسى).**

٤- بعد الانتهاء من دمك الخرسانة للطبقة العليا للقالب يسوى سطحها مع حافة القالب بالمسطرين مع مراعاة ملء القالب تماما.

٥- تُزال الخرسانة الزائدة التىسقطت على قرص الإختبار عند تسوية السطح ثم ينظف جيداً حول قالب الإختبار.

٦- يُرفع القالب المعدنى بعد ملئه مباشرة من الخرسانة بإنتظام فى إتجاه رأسى.

٧- يُرفع القرص ويخفض بمعدل منتظم لمسافة ١٢,٥ مم (٢/١ بوصة) وذلك ١٥ مرة فى مدى حوالى ١٥ ثانية.

٨- تقاس قاعدة الخرسانة المنسابة نتيجة الرفع والخفض المذكورة ويكون القياس لقطر القاعدة فى ٦ إتجاهات مختلفة ثم يؤخذ متوسط هذه القراءات ليمثل قطر الإنسياب لقاعدة المخروط الخرسانى بعد إنسياب الخرسانة.

٩- تحسب النسبة المئوية لإنسياب الخرسانة (لأقرب ٥ مم) بإعتبارها النسبة المئوية لزيادة قطر الإنسياب عن قطر القاعدة الأصلى كمايلى:

$$\text{النسبة المئوية للإنسياب} = \frac{\text{قطر الإنسياب (سم)} - ٢٥}{٢٥} \times ١٠٠$$

(حيث أن قطر القاعدة الأصلى للمخروط الخرسانى يساوى ٢٥ سم)

ويعتبر اختيار الإنسياب اختبارا معملياً فى معظم الحالات نظراً لعدم سهولة تواجد الجهاز فى موقع العمل. ويمثل الجدول الآتى النسب المئوية للإنسياب عند درجات القوام المختلفة.

جدول (١٠-٣) العلاقة بين قوام الخلطة والإنسياب.

النسبة المئوية للانسياب	صفر-٢٠%	١٥-٦٠%	٥٠-١٠٠%	٩٠-١٢٠%	١١٠-١٥٠%
قوام الخلطة الخرسانية Consistency	جـاف Dry	صلب Stiff	لدن Plastic	مبتل Wet	رخـو Sloppy

ثالثاً: إختبار كرة الإختراق (كيلى) Ball Penetration Test

وهذه الطريقة يحدد بها قوام الخرسانة بيسر ودقة كافيين وهو إختبار مشابه للهابط إلا أنه أسهل منه وأسرع منه. و يتكون الجهاز أساساً من ثقل على شكل نصف كرة نصف قطرها ١٥ سم ووزنها ١٣,٦ كج يتصل بها يد عليها مقياس مدرج والكل ينزلق من فتحة داخل إطار كما فى شكل (١٠-٩) ويمكن وضع هذا الإطار على سطح الخرسانة المراد قياس قوامها كما أن هذا الإطار يصلح فىنفس الوقت لإستخدامه كمستوى ثابت للمقارنة وقت الإختبار ويلاحظ أن جميع أجزاء الجهاز تصنع من الصلب أو أى معدن مشابه.

طريقة إجراء الإختبار:

يمكن وضع الخرسانة فى وعاء أو يمكن إجراء الإختبار والخرسانة فى مكانها داخل الفرم بعد صبها مباشرة ، وفى الحالتين يجب ألا يقل سمك الخرسانة عن ١٥ سم وأن يكون لها سطحاً مستوياً بأقل بعد يساوى ٣٠ سم. ويجب جعل سطح الخرسانة مستوياً وناعماً.

يوضع الجهاز بعناية فوق سطح الخرسانة مع رفع اليد إلى أعلى وجعل الإطار يرتكز برفق فوق السطح ثم تترك اليد لتنزلق داخل الإطار. تُقرأ مسافة إختراق الثقل داخل الخرسانة مباشرة على اليد المدرجة لأقرب ٥ مم. يؤخذ متوسط عدة قراءات فى أماكن متفرقة. وتفيد هذه الطريقة فى بيان ومقارنة قوام الخرسانة عند صبها مباشرة داخل الفرم.

شكل (١٠-٩) جهاز كرة كيلى لقياس القوام.

٢- القابلية للتشغيل Workability

تعريف:

القابلية للتشغيل هى خاصية الخرسانة الطازجة التى تبين السهولة التى يمكن بها صب ومناولة الخلطة الخرسانية كما تبين درجة تجانسها ومقاومتها للإنفصال الحبيبى.

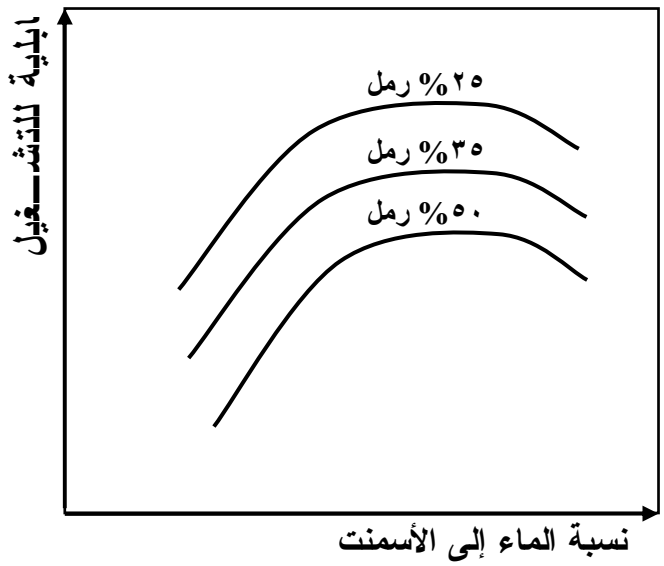
العوامل التى تؤثر على القابلية للتشغيل للخرسانة:

١- الركام:

- **مقاس الركام: زيادة نسبة الرمل تزيد من الإحتكاك وبالتالى تزيد صلابة الخلطة (شكل ١٠-١٠).**
- **شكل حبيبات الركام: الحبيبات المدورة أكثر قابلية للتشغيل بينما الحبيبات الزاوية والمفلطحة والغير منتظمة صعبة التشغيل.**
- **حالة السطح: تقل درجة التشغيل بسبب خشونة السطح مثل حالة الأحجار المكسرة.**
- **المسامية: تقلل زيادة المسامية من حركة الحبيبات وتزيد من الإحتكاك الداخلى بينها وتقل التشغيلية .**
- **المقاس الإعتبارى الأكبر: إزدياد حجم الحبيبات يقلل من القابلية للتشغيل وممكن ذلك يكون معتمداً على كيفية صب الخرسانة وطبيعة المنشأ. (أفضل مقاس للخرسانات المسلحة هو ١٥ إلى ٣٠ مم و فى حالة خرسانة الطرق ٥٠ الى ٧٠ مم).**

٢- الأسمنت:

- **نوعه: حيث تؤثر طرق صناعة الأسمنت على التشغيلية نتيجة تغير درجة التشحيم فى كل نوع.**
- **نعومته: زيادة نعومة الأسمنت يزيد من درجة تشغيل الخرسانة ولكن تكاليف طحن وتنعيم الأسمنت مكلفة جداً بحيث لا توازى المكسب فى زيادة درجة التشغيل.**
- **خواص العجينة: نسبة الركام إلى الأسمنت حيث تؤثر هذه النسبة على القابلية للتشغيل بدرجات متفاوته تعتمد على عدة عوامل مختلفة مثل المساحة السطحية ونصف قطر الركام والحجم.**



شكل (١٠-١٠) تأثير نسبة الركام الصغير فى الركام الشامل على القابلية للتشغيل.

٣- الماء:

فى الخلطات الفقيرة بالأسمنت فإن زيادة الماء لا يؤثر تأثيراً كبيراً على القابلية للتشغيل أما فى الخلطات الغنية فإن زيادة الماء لها تأثير كبير وحساس على القابلية للتشغيل.

٤- نسبة الماء/ الأسمنت:

صغر نسبة م/س تعطى خرسانة جافة وزيادة هذه النسبة لدرجة معينة ينتج عنها خرسانة لها درجة تشغيل أفضل ولكن الزيادة الكبيرة فى نسبة الماء ينتج عنها خرسانة ذات تشغيلية رديئة نظراً لسيولتها كما بشكل (١٠-١١).

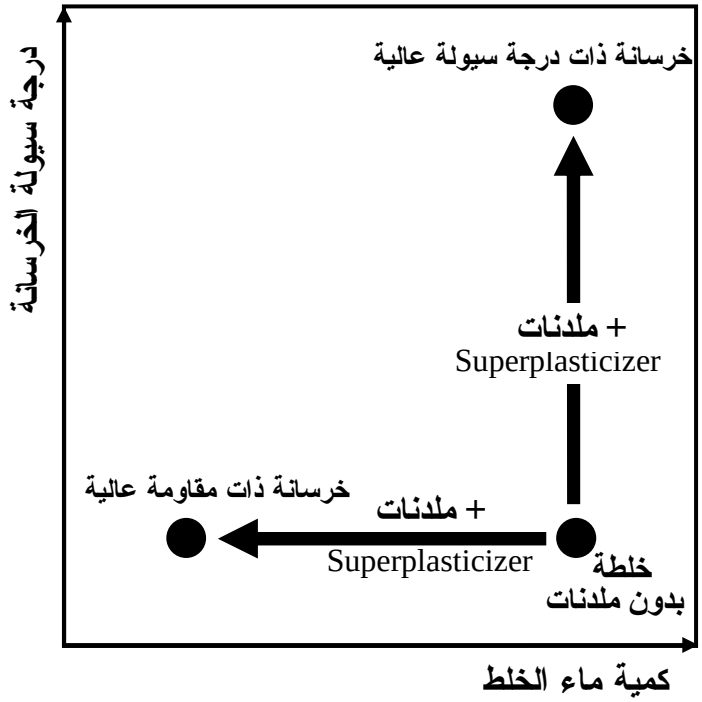
٥- الإضافات:

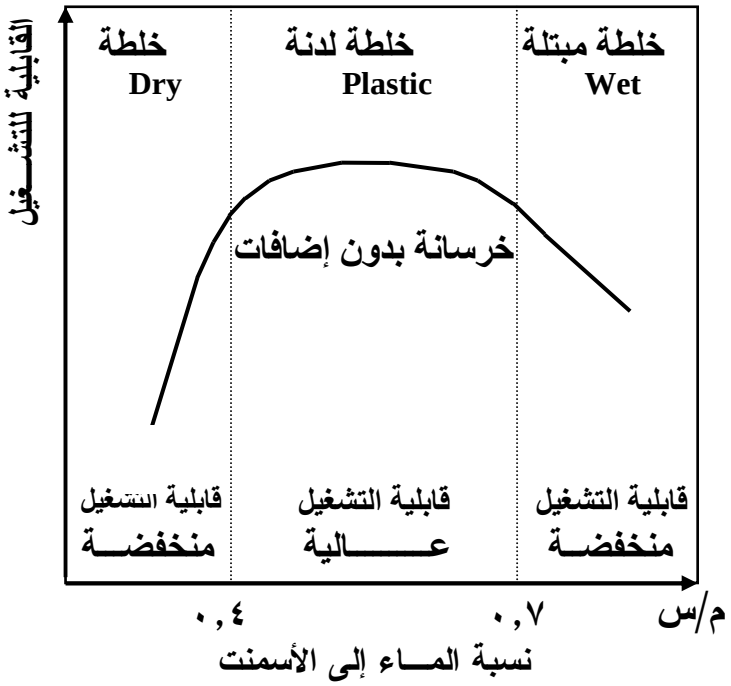
تعمل الإضافات على تحسين درجة التشغيل للخرسانة بدرجات متفاوته وأهم هذه الإضافات هى:

- **الملدنات Superplasticizers وهى مواد سائلة تضاف إلى الخلطة بنسب ١: ٣% من وزن الأسمنت.**
- **مواد مسحوقة ناعما وتعمل على تشحيم الخلطة مثل بودرة الحجر الجيرى.**
- **مواد جيلاتينية تضاف إلى الخلطة.**

٦- الهواء المحبوس:

يعمل الهواء المحبوس فى الخرسانة على تحسين القابلية للتشغيل وذلك إذا كانت نسبتة تتراوح من ٣% إلى ٧%.





شكل (١٠-١١) تأثير الإضافات ونسبة الماء فى الخلطة على القابلية للتشغيل.

❐ طرق تعيين القابلية للتشغيل:

يوجد عدة طرق لتعيين قابلية الخرسانة للتشغيل ومن أهم هذه الطرق:

*** اختبار عامل الدمك Compacting Factor Test**
*** طريقة فى بى Vebe (VB) Test**

أولاً: إختبار عامل الدمك Compacting Factor Test

يجرى هذا الإختبار لتحديد درجة قابلية تشغيل الخرسانة الطازجة وهذا الإختبار مبنى عل أساس أن الجهد اللازم لدمك الخرسانة يعبر عن مدى القابلية للتشغيل. ويبين الشكل الموضح الجهاز المستخدم فى هذا الإختبار.

طريقة إجراء الإختبار:

- **توضع الخلطة الخرسانية فى المخروط العلوى بواسطة الجاروف ويسوى سطحها مع حافة المخروط.**
- **يفتح الباب الموجود فىأسفل المخروط العلوى بحيث يسمح بهبوط الخرسانة تحت تأثير وزنها فقط إلى المخروط السفلى.**
- **تكرر نفس الخطوات بالنسبة للمخروط السفلى فتمر الخرسانة إلى الإسطوانة.**
- **بعد الإنتهاء من ملء الإسطوانة يسوى سطحها وتنظف جوانبها وحوافها الخارجية ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المدموكه جزئياً = و.**
- **يعاد ملء الإسطوانة من نفس الخلطة الخرسانية على طبقات على أن تدمك كل طبقة يدوياً أوميكانيكياً حتى تملأ تماما بالخرسانة ثم توزن ويعين وزن الخرسانة المالئة للإسطوانة وهو وزن الخرسانة المدموكة كلياً = ك.**

$$\text{عامل الدمك} = \frac{\text{وزن الخرسانة المدموكة جزئياً (نتيجة هبوطها)}}{\text{وزن الخرسانة المدموكة كلياً (نتيجة دمكها)}} = \frac{\text{و}}{\text{ك}}$$

وبمعرفة عامل الدمك يمكن تحديد درجة القابلية للتشغيل كما فى جدول (١٠-٤). ويعتبر اختبار عامل الدمك إختباراً معملياً وغيرمناسب لموقع العمل إلا فى المنشآت الكبيرة. وتستخدم هذه الطريقة لقياس قابلية التشغيل لجميع الخلطات الخرسانية بإستثناء الخلطات منخفضة القابلية للتشغيل والخلطات الخشنة لتعذر الحصول على نتائج دقيقة لهذه الخلطات.

شكل (١٠-١٢) جهاز عامل الدمك.

جدول (١٠-٤) القابلية للتشغيل معبراً عنها بعامل الدمك.

درجة التشغيلية	عامل الدمك	الهبوط (سم)	الإستعمال المناسب للخرسانة.
منخفضة جدا	٠,٧٨	صفر-٢,٥	الطرق المستخدم فيها الهز بالماكينات العادية أو اليدوية
منخفضة	٠,٨٥	٢,٥-٥	الطرق المستخد فيها الهز بالماكينات اليدوية أو الهز اليدوى إذا كان الركام مستديرا أو زاويا. الخرسانة الكتلية فى الأساسات بدون اهتزازات أو الخرسانة المسلحة التى يها تسليح خفيف بواسطة الدمك بالهز.
متوسطة	٠,٩٢	٥-١٠	الأسقف المدموكة باليد أو الخرسانة المسلحة ذات التسليح الثقيل والمدموكة باليد أو بالإهتزازات.
عالية	٠,٩٥	١٠-١٧,٥	للقطاعات ذات التسليح الشديد جداً غير المناسب للهز .

ثانياً : طريقة فى بى Vebe (VB) Test

وهذا الاختبار تعديل لاختبار إعادة التشكيل بحيث ألغيت الإسطوانة الداخلية به وتم الدمك بالهز بدلاً من الرج والشكل (١٠-١٤) يوضح رسماً لهذا الجهاز. ويفترض أن إعادة التشكل قد إكتملت عندما يغطى اللوح الزجاجى الخرسانة تماما وعندما تتلاشى كل الفراغات فى الخرسانة ويحدد هذا بالنظر الذى يعتبر أحد عيوب إجراء الإختبار. ويتم الدمك بواسطة منضدة إهتزاز بها حمل غير متمركز ويدور بسرعة ٣٠٠٠ لفة فى الدقيقة وبعجلة قدرها ٣ج إلى ٤ج حيث ج هى عجلة الجاذبية الأرضية. وبفرض أن كمية الطاقة اللازمة لتمام الدمك تمثل درجة التشغيلية للخليط معبراً عنها بالزمن اللازم بالثانية لإعادة التشكل الكامل. وفىبعض الأحيان يعمل تصحيح قدره V2/ V1حيث V2 هو حجم الخرسانة بعد الإهتزاز و V1 هو حجمها قبل الإهتزاز. وهذا الجهاز أميز من جهاز عامل الدمك حيث قد تلتصق بعض الخرسانة الجافة فى القواديس وهو مناسب جداً فى حالة إختبار الخرسانة الجافة أو الخرسانة التى بها ألياف. و قد يستخدم أيضا للتعبير عن القوام.

شكل (١٠-١٤) جهاز فى بى.

٣- الانفصال الحبيبي Segregation

الانفصال الحبيبي هو انفصال مكونات أي خليط غير متجانس (مثل الخرسانة) بحيث يصبح توزيع هذه المكونات غير منتظم. ويوجد نوعان من الإنفصال الحبيبى للخرسانة:

١- إنفصال الحبيبات الكبيرة من الركام نتيجة لكونها أكثر ترسباً. وذلك يكون فى الخلطات الجافة جداً وخاصة الفقيرة فى الأسمنت.

٢- إنفصال الأسمنت اللبانى ويحدث ذلك فى الخلطات المبتلة جداً.

❐ أسباب حدوث الانفصال الحبيبى:

١- الخلط: عند زيادة زمن الخلط عن الزمن اللازم والمناسب فقد يحدث إنفصال نتيجة قوة الطرد المركزية لحلة الخلاط والذى ينتج عنه أن الركام الصغير يلتصق بالجدار والكبير يهبط الى أسفل. ولتلافى ذلك يجب عدم زيادة زمن الخلط عن الزمن المحدد لذلك. كذلك يجب عند تفريغ الخلاط أن لا تزيد مسافة التفريغ عن ١,٠ متر.

٢- النقل عند نقل الخرسانة إلى موضع الصب يمكن حدوث إنفصال نتيجة الرج و التأرجح لعربات النقل وخاصة فى الخلطات المبتلة.

٣- الصب: يجب مراعاة عدم الصب من إرتفاعات عالية.

٤- الدمك: الدمك الزائد قد يسبب إنفصالاً حبيبياً.

❐ لملافاة الانفصال الحبيبى:

١- ينبغى العناية بتصميم الخلطة الخرسانية وضبط مكوناتها عن طريق زيادة المواد الناعمة مثل الأسمنت والركام الصغير وكذلك تقليل نسبة م/س مما يؤدى إلى تماسك أكبر للخلطة الخرسانية.

٢- استخدام إضافات تقليل ماء الخلط Superplasticizers.

٣- مراعاة عمليات الصناعة من خلط و نقل و صب كما سبق شرحه.

٤- استخدام إضافات تحسين اللزوجة Viscosity Enhancing Admixtures.

٤- النضح Bleeding

النضح هو تكون طبقة من الماء على سطح الخرسانة المصبوبة حديثا بعد دمكها و تسويتها.

❐ أسباب حدوث النضح :

كثرة الدمك الذى يؤدى إلى هبوط المكونات الثقيلة (الركام) إلى أسفل وصعود العجينة الأسمنتية إلى أعلا وكذلك زيادة ماء الخلط. وأضرار النضح تتلخص فى الآتى:

١- إحتواء الطبقة العليا على نسبة عالية من الماء مما يسبب وجود فراغات فى تلك الطبقة نتيجة تبخر الماء وبالتالى ضعف مقاومة الخرسانة.

٢- عند صعود الماء إلى أعلا قد يحمل معه جزيئات ناعمة من الأسمنت تكون طبقة هشة على السطح بعد تبخر الماء وجفافه ولذلك يلزم إزالة هذه الطبقة قبل الإستمرار فى الصب.

٣- تراكم طبقة رقيقة من الماء تحت سطوح الركام الكبير والحديد مما يؤدى إلى فراغات وضعف قوة التماسك بين الخرسانة و حديد التسليح.

❐ لملافاة ظاهرة النضح :

يجب إستعمال كمية ماء خلط مناسبة وعدم إستعمال خلطات مبتلة جداً أو بها نسبة قليلة من المواد الناعمة مثل الأسمنت والرمل. كما إن إستخدام نسبة من الملدنات فى الخلطة يؤدى إلى تحسين خواص الخرسانة ويعمل على تقليل ماء الخلط وتلاشى ظاهرة النضح.

****

References المراجع

١- " دليل الاختبارات المعملية لمواد الخرسانة - الملحق الثالث للكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة – "كود رقم ٢٠٣ - إصدار ٢٠٠٣- وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية - مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمراني. جمهورية مصر العربية.

٢- "الكود المصري لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية المسلحة" كود رقم ٢٠٣ - التحديث الثانى ٢٠٠١- وزارة الإسكان والمرافق والمجتمعات العمرانية - مركز بحوث الإسكان والبناء والتخطيط العمراني. جمهورية مصر العربية.

٣- "المواصفات القياسية المصرية رقم ٤٧٥٦-٢٠٠٥/١ الخاصة بالأسمنت: التركيب والاشتراطات ومعايير المطابقة للأسمنت الشائع" الهيئة المصرية العامة للتوحيد القياسي – وزارة الصناعة.

٤- "المواصفات القياسية المصرية رقم ١٩٩٢/١١٠٩ الخاصة بركام الخرسانة من المصادر الطبيعية" الهيئة المصرية العامة للتوحيد القياسي – وزارة الصناعة.

٥- عبد الرحمن مجاهد أحمد "دليل المهندس الإنشائي لتصميم وتنفيذ المنشآت الخرسانية" تسعة أجزاء – رقم الإيداع ٩٨/١٧١١٠ – الرقم الدولي 7-7723-19-977 – مطبعة مختار بأسيوط.

٦- أحمد العريان و عبد الكريم عطا "تكنولوجيا الخرسانة" ١٩٦٧ الناشر: عالم الكتب، القاهرة - الجزء الأول ٤٩٥ صفحة و الجزء الثانى ٤٥٥ صفحة.

٧- إبراهيم على الدرويش، على إبراهيم الدرويش "الخرسانة - موادها وصناعتها و ضبط جودتها وترميمها" ٢٠٠٠ الناشر: شركة الجلال للطباعة - ثلاثة أجزاء.

٨- محمد علي بركات "مواد البناء واختباراتها القياسية" كلية الهندسة جامعة الإسكندرية - منشورات دار الراتب الجامعية – ١٩٨٤ – ٣٣٠ صفحة.

٩- شريف أبو المجد، عمرو سلامة، منير كمال و شادية الإبيارى "تصدع المنشآت الخرسانية وطرق إصلاحها" ١٩٩٣، دار النشر للجامعات المصرية - القاهرة - ٧١٩ صفحة.

١٠- أحمد محمد طهوية "مواد الخرسانة – الخواص والاختبارات" كلية الهندسة جامعة المنصورة – ٢٠٠٠ ، ١٣٤ صفحة.

١١- محمود إمام، أحمد عبد الرحيم ، عمرو شحاتة "خرسانة مقاومة للحرارة للبناء فى المناطق الصحراوية" ندوة التنمية العمرانية فى المناطق الصحراوية ومشاكل البناء بها ، مجلس وزراء الإسكان والتعمير العرب ، جامعة الدول العربية ، وزارة الأشغال العامة والإسكان السعودية ، الرياض ، المملكة العربية السعودية ، نوفمبر ٢٠٠٢ ، المجلد الثالث ، الصفحات ٦٢١-٦٣١.

١٢- محمود إمـام "الخرسانة – الخواص ، الجودة ، الاختبارات" الناشر المغربي للطباعة والنشر، المنصورة – الطبعة الرابعة ٢٠٠٧، رقم الإيداع بدر الكتب المصرية ٢٠٠٦/٢٤٨٨٨ – الرقم الدولي ISBN: 9-4179-17-977.

١٣- محمود إمـام "الخرسانة سابقة الصب" الناشر المغربي للطباعة والنشر، المنصورة ٢٠٠٦، رقم الإيداع بدر الكتب المصرية ٢٠٠٦/٢٢٥٥٥.

14- Ken W. Day "Concrete Mix Design, Quality Control and Specifications" 1995, Chapman & Hall, London, UK, 350 pp.

15- Portland Cement Association "Principles of Quality Concrete" 1975, John Wiley & Sons, Inc., USA, 312 pp.

16- M.R. Rixom and N.P. Mailvaganam "Chemical Admixtures for Concrete" Second Edition 1986, Published by E. & F.N. Spon Ltd., USA, 306 pp.

17- ASTM 169 A "Tests and Properties of Concrete and Concrete -Making Materials"1966, American Society For Testing And Materials, USA, 571 pp.

18- A. M. Neville "Properties of concrete" Third Edition 1981, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London, 779 pp.

19- A. Megahid "Concrete for Engineers" 1988, Assiut Press, Assiut University, Egypt, 440 pp.

20- R. H. Elvery "Concrete Practice" Volume Two, 1963, C.R. Books Ltd., London, UK, 331 pp.

21- George Troxell, Harmer Davis, and Joe Kelly "Composition and Properties of Concrete" 1968, McGraw Hill, New York, 529 pp.

22- John L. Clarke "Structural Lightweight Aggregate Concrete" 1993, Chapman & Hall, Glsgow, UK, 240 pp.

23- J. Singleton-Green "Concrete Engineering" Volume 2, 1935, Charles Griffin And Company, London, 261 pp.

24- M. Imam, L. Vandewalle, and F. Mortelmans "Proportioning and Properties of Very High Strength Concrete With and Without Steel Fibres" 1993, Proceedings of the International Conference "Concrete 2000", Dundee, Scotland, pp. 1693-1705.

25- M. Imam, L. Vandewalle, and F. Mortelmans "Shear Capacity of Steel Fiber High Strength Concrete Beams" 1994, ACI, SP 149-13, USA, pp 227-241.

26- M. Imam, L. Vandewalle, and F. Mortelmans "Are Current Concrete Strength Tests Suitable for High Strength Concrete?" 1995, Materials and Structures, Rilem, No. 28, pp 384-39.

27- M. Imam, L. Vandewalle, F. Mortelmans, and D. Van Gemert "Shear Domain of Fibre Reinforced High Strength Concrete Beams" 1997, Journal of Engineering Structures, Vol. 19, No. 9, pp 738-747.

28- M. Imam "How to Improve the Tensile Capability of High Strength Concrete?" 1996, International conference "Concrete in the Service of Mankind", Scotland, UK, pp323-330.

29- M. Imam "It is a Time to Utilize High Strength Concrete in Egypt" 1996, Third International Conference for Building & Construction, Inter-Build 96, Cairo, pp973-982.

30- M. Amin "High Strength Concrete in Egypt .. How and Why?" Master Thesis - Structural Engineering Dept., Mansoura University, Sept. 1999, 156 pp.

31- M. Imam "Mixing Water or Reinforcing Bars?" 1997, 7th Arab Structural Engineering Conference, Kuwait, pp 191-199.

32- M. Imam, A. Abdel-Reheem, and M. Amin "High Performance Concrete With Local Materials in Egypt" 1998, Structural Engineering World Congress SEWC, San Francisco, USA, T209-6

33- M. Imam, A. Abdel-Reheem, and M. Amin "Utilization of Silica Fume in Egypt" 1997, 7th Arab Structural Engineering Conference, Kuwait, pp 99-108.

34- M. Imam, M. Amin, and A. Abdel-Reheem "Benefits of Superplasticizers" 1997, 7th Arab Structural Engineering Conference, Kuwait, pp 109-118..

35- M. Imam, A. Abdel-Reheem, Y. Abou-Mosallam, and A. Shihata, "Acoustic and Thermal Insulation of Lightweight Concrete" Eighth Arab Structural Engineering Conference, Faculty of Engineering, Cairo University, 2000, pp 1559-1569.

36- M. Imam "Self-Compacting Concrete; How to Produce it?" Mansoura Engineering Journal (MEJ), Vol. 26, No. 3, September 2001, pp C19-C34.

37- M. Imam, A. Abdel-Reheem, and A. Elmenshawi "One Day Instead of 28 Days for Achieving Concrete Strength" International Conference on Performance of Construction Materials in the New Millennium, Organized by the University of Calgary, Canada, and the University of Ain Shams, February 2003, Cairo, Egypt, Vol. 1, pp 319-328.

38- M. Imam, "Evaluation of Antiwashout Admixtures for Use in Underwater Concrete" Journal of Engineering and Applied Science, Faculty of Engineering, Cairo University, Vol. 51, No. 1, Feb. 2004, pp. 67-83.

39 M. Amin "Properties and Durability of Self-compacting Concrete" PhD Thesis - Structural Engineering Dept., Mansoura University, Feb. 2006, 359 pp.

40 M., Attia "Improving the Efficiency of Cement in Concrete Mix by Mechanical Means" Master Thesis - Structural Engineering Dept., Mansoura University, Feb. 2006, 181 pp.

41 M., Imam, "Properties of Underwater Concrete Containing Antiwashout Admixtures" The 5th International Engineering Conference (5th IEC), Faculty of Engineering, Mansoura University, Sharm El-Sheikh, March 27-31, 2006.

****