Manara University
Faculty of Engineering
Department of civil engineering

جامعة المنارة
كلية الهندسة
قسم الهندسة المدنية

مقرر مواد بناء

لطلاب الهندسة المدنية

مدرس المقرر

د.م. مهند سليم مهنا

الإسمنت

أحد المواد الأساسية المهيمنة في قطاع البناء والتشييد، حيث بلغ الإنتاج العالمي من الاسمنت عام 2022 حوالي 4.1 مليار طن.

تعود بداية الاسمنت إلى العصور الرومانية حيث كانت صناعة الإسمنت تتم عن طريق خلط الماء مع الكلس المشوي للحصول على مادة رابطة تستعمل في البناء كما أضافوا أحياناً الرماد البركاني التي كان يتم الحصول عليها من خليج نابولي، وقد أضاعت الحضارات المختلفة في العصور الوسطى سر تكوين الإسمنت والحصول عليه، حتى قام المهندس الإنجليزي جوزيف أسبدين في القرن التاسع عشر بوضع النِسَب الصحيحة من الحجر الجيري والطين لتكوين الإسمنت الجيد.

الاسمنت البورتلاندي

مادة ناعمة ولاصقة إذا أضيف لها الماء تتحول بداية إلى عجينة إسمنتية طرية، ثم تتحول بعد فترة من الزمن إلى مادة صلدة، وتكتسب مع الوقت مقاومة خصوصا إذا وضعت في الماء . تم اكتشافه في العام 1824م، وسُمّي بذلك نسبةً إلى حجر بورتلاند، ويتم استخدامه في البناء على نطاقٍ واسعٍ. ويتكون بشكل رئيسي من:

- أكسيد الكالسيوم (CaO) : يستخرج من الأحجار الكلسية الجيرية ويشكل حوالي ثلثي كتلة الاسمنت.
- ثاني أكسيد السيليكون (SiO2) : تسمى بالسيلكا وتشكل حوالي خمس كتلة الاسمنت
- أكسيد الألمنيوم (Al2O3): من مصادره خام البوكسيت
- أكسيد الحديد (Fe_2O_3) : يسبب اللون الرمادي للاسمنت ويجب ألا تقل نسبة الألومينا إلى أكسيد الحديد عن 0.66
- كبريت الكالسيوم (الجبص): يضاف بعد الحرق، يحدد عادة بنسبة حوالي 2.75%

خام السيليكا Quartz ore

خام االحديد Magnetite

خام الألمنيوم Bauxite

الصيغ الكيميائية والرموز المعتمدة لمكونات الاسمنت

المادة الخام	الاختصار	الصيغة	المكون
الأحجار الكلسية	C	CaO	أكسيد الكالسيوم (الجير)
خامات السيليكا /الكوارتز	S	SiO2	ثاني أكسيد السيليكون (السيليكا)
البوكسيت	A	Al2O3	أكسيد الألومنيوم (الألومينا)
الماغنيتيت	F	Fe2O3	أكسيد الحديد
	H	H2O	الماء
الجبص	S	SO3	كبريتات

مواد يدخل الإسمنت في تركيبها

لا يُستخدم الإسمنت وحده في الإنشاءات والبناء، وإنما يُستخدَم كمُكوّن للمادة الأساسية والمهمة للبناء، ومن أهم المنتجات التي يدخل في تكوينها الإسمنت ما يأتي:

- **الخرسانة**: : (Concrete) هي مادة البناء الأساسية، وتستخدم في أساسات البناء والجدران والأسقف الخرسانية، والخرسانة هي عبارة عن خليط من الإسمنت والرمل والحصى أو من الركام بنوعيه الناعم والخشن، مضافاً إليه الماء الذي يعمل على تنشيط الإسمنت ويساهم في بناء الروابط بين المكوّنات لتكوين مادة صلبة في النهاية.
- **المونة الإسمنتية**: (Mortar) وهي أحد مواد البناء، تتكون من الإسمنت والرمل الناعم والماء، مضافاً إليه الجير لتحسين متانة المنتج النهائي.
- **الروبة الإسمنتية**: (Grout) وهي أحد مواد البناء التي يُمكن اعتبارها كنوع من أنواع المونة الإسمنتية، مضافاً إليها نسبة من الماء أكبر من المونة الإسمنتية.

مراحل صناعة الاسمنت

1- مرحلة استخراج المواد الخام والطحن لتصنيع الإسمنت:

يتم استخراج المواد الخام من المقالع ونقلها إلى مصنع الإسمنت. تبدأ بعدها مرحلة المزج والطحن لتصنيع الإسمنت حيث تطحن المواد بواسطة عجلة طحن ضخمة دوارة. تقوم هذه العجلة بتحويل هذه المواد إلى مسحوق ناعم.

2- مرحلة التسخين المسبق للمواد لتصنيع الإسمنت:

تمر المواد عبر غرفة التسخين المسبق قبل الوصول إلى الفرن. هذه العملية توفر الانبعاثات وتجعل عملية الإنتاج صديقة للبيئة.

3- مرحلة الفرن :

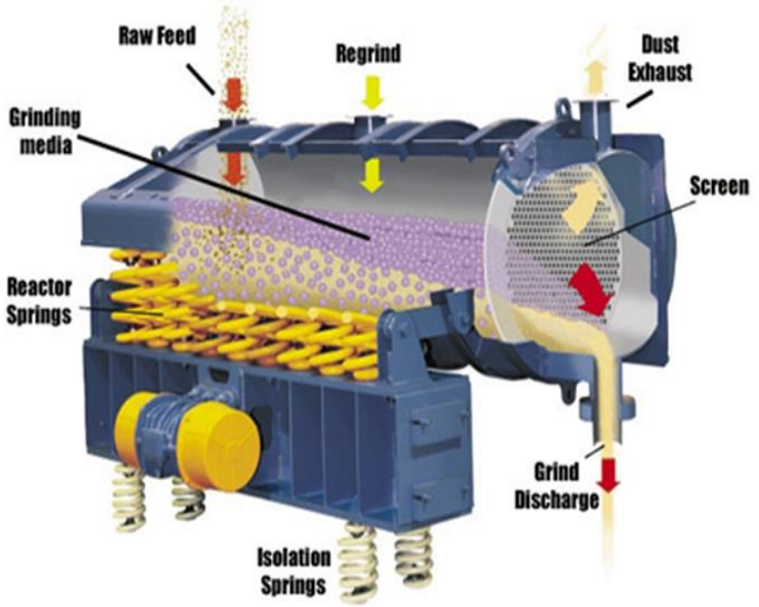
لتصنيع الإسمنت يتم تسخين المواد حتى 1450 درجة مئوية. يؤدي هذا إلى حدوث تفاعل كيميائي يسمى "إزالة الكربون". تترسب المواد إلى قاع الفرن مشكلة مادة الـ "كلنكر".

4- مرحلة التبريد والطحن النهائي لتصنيع الإسمنت:

يتم تبريد الكلنكر. وبهذا فإنه يطلق حرارة يعاد استخدامها عن طريق توجيهها إلى الفرن. يتم بعدها طحن وسحق الكلنكر بواسطة كرات فولاذية ويتحول إلى مسحوق ناعم، هذا المسحوق الناعم هو الإسمنت. أثناء عملية الطحن، يتم إضافة الجبس إلى الخليط بنسبة صغيرة.

5- مرحلة التعبئة والشحن لإنتاج الإسمنت:

يعبأ الإسمنت في أكياس ويرسل بواسطة الشاحنات أو السفن إلى مختلف الأماكن.



تعاريف هامة

كلنكر الاسمنت: مادة صلبة تنتج في صناعة الأسمنت البورتلاندي كمنتج وسيط خلال المعالجة الحرارية لعناصر الاسمنت في الفرن. يأخذ الكلنكر شكل كتل أو عقد، يبلغ قطرها عادة بين 3-25mm. يتم تسخين الحجر الجيري والطين والبوكسيت (الألمنيوم) وخام الحديد بنسب محددة في فرن دوار عند (1,400 درجة مئوية) إلى أن تبدأ في تشكيل مواد كتلية، والتي تعرف أيضاً باسم كلنكر الاسمنت والتي هي المرحلة الأولى في صناعة الاسمنت.

عند خلط مكونات الأسمنت الأساسية: الجير والسليكات والألومينا وأكسيد الحديد فان الكلنكر الناتج بعد عملية الحرق يحتوي علي أربعة مركبات رئيسية تختلط مع بعضها البعض بنسب مختلفة كما موضح بشكل (١-١٢) وهي كالأتي:

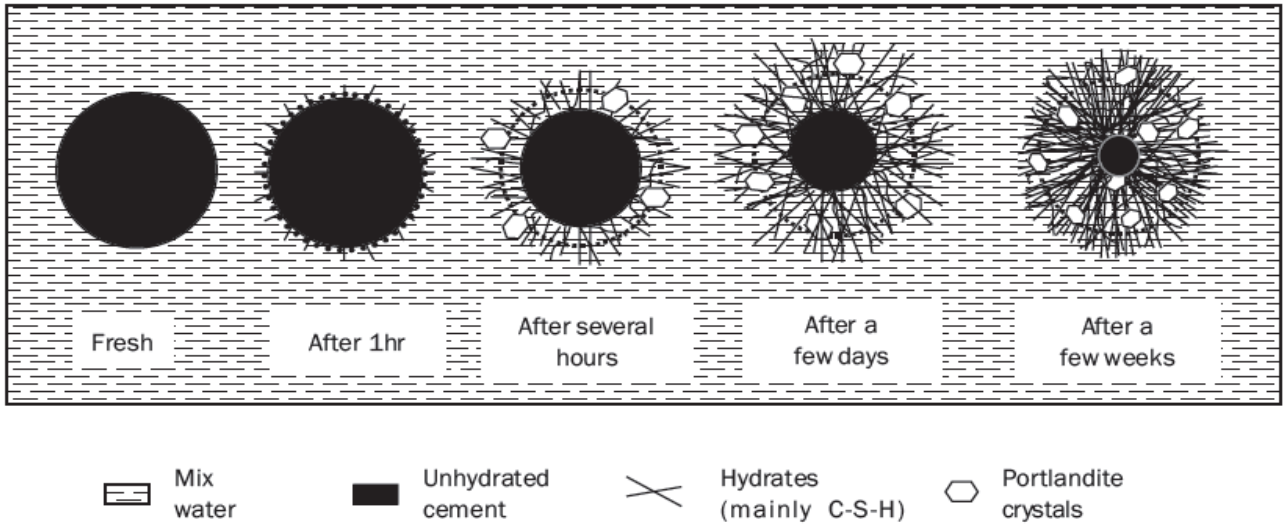
Tricalcium Silicate C3S	سيلكات ثلاثي الكالسيوم (٤٠- ٥٠%)
Dicalcium Silicate C2S	سليكات ثنائي الكاليسوم (٢٠ – ٣٠%)
Tricalcium Aluminate C3A	ألومينات ثلاثي الكالسيوم (٩ – ١١%)
Tetracalcium Alumino-ferrite C4AF	ألومينا حديد رباعي الكالسيوم (٩ – ١١%)

الإماهة: التفاعلات الفعالة التي تحدث عند إضافة الماء للاسمنت، حيث لا تتفاعل مكونات الاسمنت الا في وسط مائي. يؤدي توفر الماء والسيليكات والألومينات لتحويل الخلطة الاسمنتية إلى كتلة صلبة.

زمن الشك الابتدائي :الزمن الذي ينتهي عنده تفاعل الاسمنت مع الماء ويجب أن لا تقل مدته عن 45 دقيقة ولا تزيد عن ساعتين.

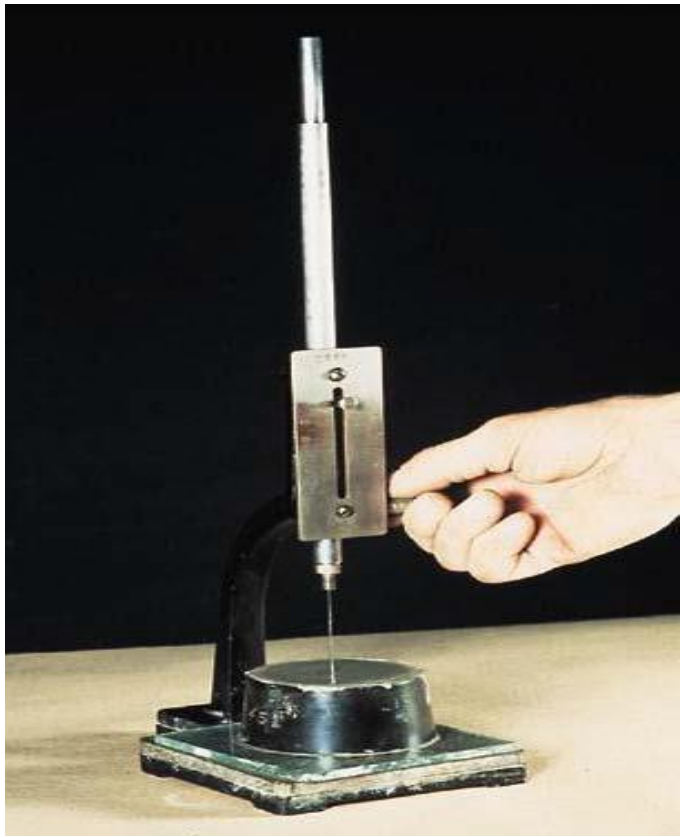
زمن الشك النهائي: الزمن اللازم لوصول الخلطة الاسمنتية لدرجة من التصلب لا تستطيع إبرة اختراقها أثناء سقوطها من ارتفاع محدد تحت وزنها الذاتي، زمن الشك النهائي حوالي 10 ساعات.

زمن التصلد يبدأ من 10 ساعات الى 28 يوم. وبالطبع يتغير عدد الساعات حسب نوع الاسمنت و الاضافات في الخلطة الخرسانية.



توضيح للتفاعلات والتغيرات الحاصلة لحبيبات الاسمنت عند الاماهة

في حالة **الشك السريع** لن يكون هناك وقت كاف لنقل الخرسانة إلى موقع الصب قبل فقد لدونتها وفي حالة **الشك البطيء** يحتاج الشك إلى وقت طويل مما يعمل على تعطيل العمل وتأخر استثمار المنشأ وذلك لتأخر الحصول على المقاومة المطلوبة.



ماهي فوائد معرفة زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي؟

1. تحديد الزمن الأقصى للمسافة التى يجب أن تقطعها الخلاطة حتى تصل لمكان الصب.
2. تصميم مناسب للخلطة الخرسانية لتفادي شك الخرسانة قبل صبها.
3. تحديد الزمن اللازم قبل فك **الشدة الخشبية** (الكوفراج)

يتم تعيين زمن الشك الابتدائي والنهائي بواسطة تجربة القوام القياسي بواسطة جهاز فيكا (Vicat)

1. يتم وزن مقدار من الاسمنت الجاف وليكن في حدود 500 جم .
2. يخلط هذا المقدار مع كمية من الماء ولتكن 25 ٪ من وزن الاسمنت في خلاط آلي على أن ينتهي الخلط في حدود (4) دقائق من بداية عملية الخلط .
3. بعد الخلط مباشرة توضع العجينة الأسمنتية في قالب جهاز فيكات على لوح زجاجي غير منفذ للماء ويسوى سطحه .
4. يتم ضبط العمود الذي وزنه مع الإبرة 300 جم وقطر الإبرة 105 ملم بحيث يكون ملامساً لسطح اللوح الزجاجي ويضبط مؤشر الجهاز على الصفر .
5. يوضع القالب أسفل القضيب على أن يكون ملامساً للسطح ويسمح له بالهبوط تحت تأثير وزنه وننتظر حتى يثبت ونقرأ قراءة المؤشر .

تعريف زمن الشك الابتدائي :

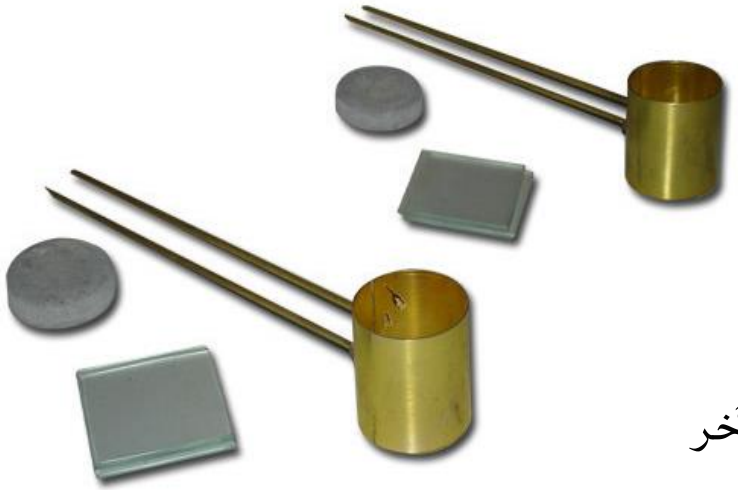
هو الزمن الذي يمضي من لحظة إضافة أول قطرة من الماء إلى الاسمنت الجاف حتى اللحظة التي تبعد الإبرة مسافة 5 ملم من قاع القالب ونزول قراءة المؤشر عند 35 ملم .

تعريف زمن الشك النهائي

هو الفترة التي تمر بين لحظة إضافة الماء إلى الاسمنت الجاف واللحظة التي تترك إبرة جهاز فيكات أثراً بعجينة الاسمنت بينما لا يظهر الأثر الدائري للجزء المثبت حول الإبرة.

وتتطلب المواصفات القياسية للأسمنت البورتلاندى العادى والسريع التصلد ألا يحدث الشك الابتدائى قبل مضى ٤٥ دقيقة وألا يتأخر الشك النهائى عن ١٠ ساعات.

اختبار ثبات الحجم للاسمنت (لوشاتلييه) Le Chatelier



يتم استعمال جهاز **لوشاتلييه** لتعيين ثبات حجم الاسمنت وقياس التمدد.

يتكون على شكل اسطوانة مصنوعة من النحاس الاصفر المرن

- يخلط 100gr من عينة الإسمنت مع كمية الماء اللازمة لعمل عجينة إسمنتية ذات قوام قياسي
- يوضع القالب فوق أحد اللوحين الزجاجيين، يملأ القالب بالعجينة الإسمنتية بلطف ويغطى بلوح الزجاج الآخر
- ويوضع فوقه ثقل مناسب ومباشرة يغمر الجميع في ماء درجة حرارته (23)° مدة (24) ساعة.
- يرفع القالب من الماء وتقاس المسافة بين طرفي المؤشرين (a1).
- يغمر القالب في ماء درجة حرارته (23) ° ثم يسخن تدريجياً إلى درجة الغليان ويترك ليغلي مدة ساعة واحدة.
- يرفع القالب من الماء ويترك حتى يكتسب درجة حرارة المختبر، تقاس المسافة بين طرفي المؤشرين (a2).
- يعاد الاختبار مرتين على الأقل و يسجل متوسط القياسات (a1)، (a2).

- حساب مقدار التمدد:

يحسب مقدار التمدد للعجينة الإسمنتية بالمليمترات كالتالي:

مقدار تمدد الاسمنت = (a2-a1)

حيث: a1= متوسط المسافة بين طرفي المؤشرين بعد غمر القالب في الماء البارد (mm).

a2= متوسط المسافة بين طرفي المؤشرين بعد غمر القالب في الماء المغلي (mm)

يجب ألا يزيد مقدار التمدد عن 10mm

أنواع الإسمنت:

الإسمنت يصنع لتلبية متطلبات فيزيائية وكيميائية مختلفة لأغراض محددة، وفي المواصفات هناك خمسة أنواع رئيسية من الإسمنت:

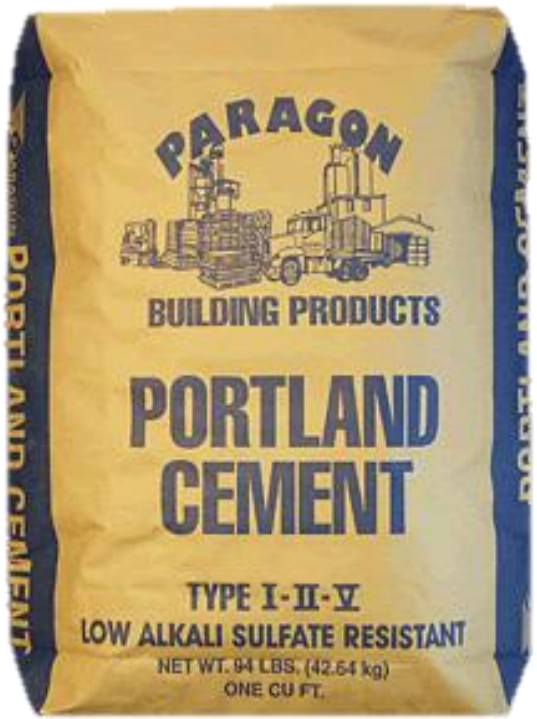
١ - إسمنت بورتلاندي عادي TYPE 1

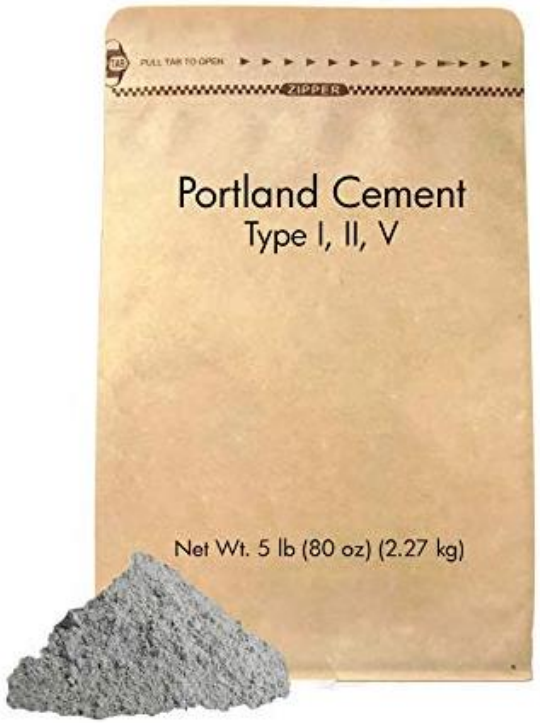
٢ - إسمنت متوسط المقاومة للكبريتات TYPE 2

٣ - إسمنت سريع التصلد TYPE 3

٤ - إسمنت منخفض الحرارة TYPE 4

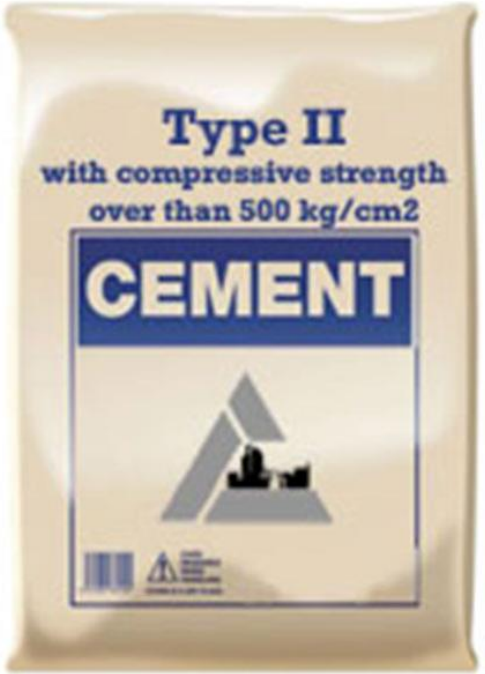
٥ - إسمنت مقاوم للكبريتات TYPE 5





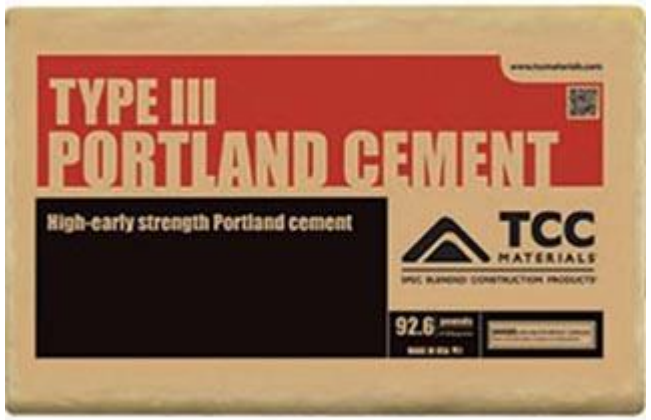
١ - الإسمنت البورتلاندي العادي TYPE 1

- الإسمنت البورتلاندي العادي ملائم ومناسب لمعظم الاستخدامات عندما تكون الخواص الموجودة بالأنواع الأخرى من الإسمنت غير مطلوبة.
- يلزم عدم استخدام هذا النوع من الإسمنت في حالة الخرسانة المتصلة بتربة عالية الكبريتات أو تكون الخرسانة معرضة لدرجة حرارة عالية خلال التفاعل.



٢ - الإسمنت متوسط المقاومة للكبريتات TYPE 2

- هذا النوع من الإسمنت يوصي باستخدامه عند الحاجة إلى الاحتياط ضد مهاجمة الكبريتات المتوسطة، على سبيل المثال في منشآت الصرف الصحي حيث المياه الجوفية تحوي على كبريتات مركزة أكثر من الحالة العادية.
- هذا النوع من الإسمنت يتولد عنه حرارة أقل عند التفاعل وبالتالي يعالج بعد الصب بنسبة أبطأ عن النوع رقم ١
- درجة الحرارة المتوسطة المتولدة من التفاعل في هذا النوع من الإسمنت تقلل ارتفاع درجة الحرارة بالخرسانة وهذا مهم جدا عندما تصب الخرسانة في الأجواء الحارة لمنشأة بها كتل ضخمة مثل الأعمدة الضخمة أو الحوائط الساندة الكبيرة.

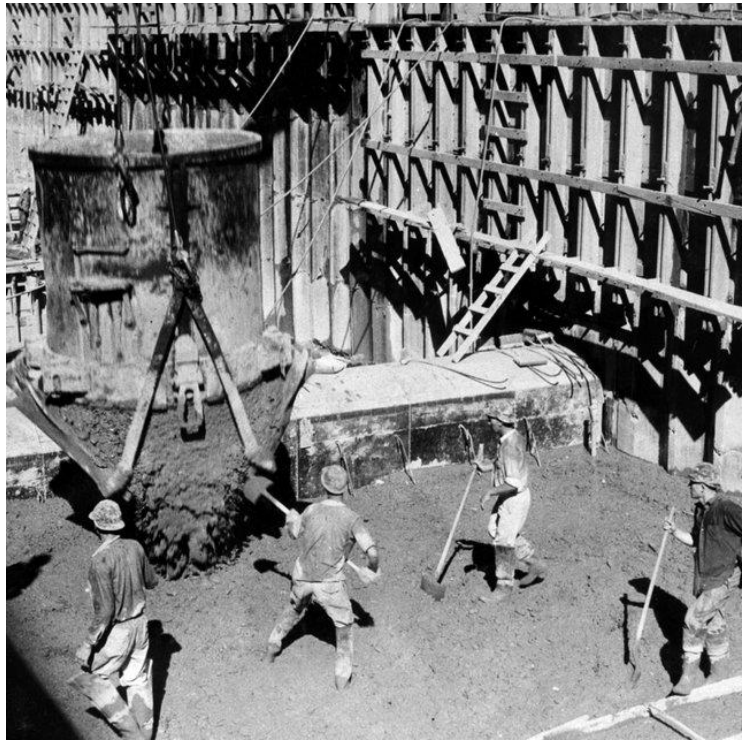


٣ - الإسمنت سريع التصلد TYPE 3

- هذا النوع يستخدم عندما تكون مقاومة الضغط القصوى للخرسانة مطلوبة في وقت مبكر جداً (عادة في أسبوع أو أقل).
- وهذا النوع يستخدم للأغراض التالية:
  - عندما يطلب إزالة شدات الصب مبكراً.
  - عندما يراد أن تدخل الخرسانة في الخدمة بسرعة.
  - عندما تكون الأجواء باردة وذلك لتقليل الفترة المطلوبة للحماية ضد درجة الحرارة المنخفضة حتى يتم التحكم في المعالجة والإيناع.

٤ - الإسمنت منخفض الحرارة TYPE 4

- يستخدم هذا النوع في حال أن تكون كمية ونسبة الحرارة المتولدة أثناء التفاعل مطلوب تخفيضها إلى أقل ما يمكن.
- القوة المطلوبة للخرسانة تكتسب بنسبة بطيئة.
- هذا النوع من الإسمنت مطلوب استخدامه في الكتل الخرسانية الكبيرة مثل السدود الضخمة حيث ارتفاع درجة الحرارة الناتج عن التفاعل أثناء التصلد تعد مؤشر خطير.



صب البيتون في سد هوفر في الولايات المتحدة

٥ - الإسمنت المقاوم للكبريتات TYPE 5

- هذا النوع الخاص مطلوب استخدامه فقط في المنشآت المكشوفة لفعل وأثر الكبريتات القاسية والخطيرة مثل أن تكون التربة أوالماء محتويان على كمية كبيرة من القلويات.
- بهذا النوع أيضا نسبة اكتساب الخرسانة للقوة المطلوبة أبطأ من الإسمنت البورتلاندي العادي.

التعرض للكبريتات	كمية الكبريتات(SO_4) في التربة القابلة للذوبان في الماء (نسبة مئوية من الوزن)	كمية الكبريتات (SO_4) في الماء، ppm	نوع الإسمنت	الحد الأعلى لنسبة وزن الماء إلى وزن المواد الإسمنتية
غير مؤثر	٠,٠٠≤SO_4<٠,١٠	٠≤SO_4<١٥٠	–	–
معتدل	٠,١٠≤SO_4<٠,٢٠	١٥٠≤SO_4<١٥٠٠	II	٠,٥٠
شديد+	٠,٢٠≤SO_4≤٢,٠٠	١٥٠٠≤SO_4<١٠,٠٠٠	V	٠,٤٥
شديد جداً +	SO_4>٢,٠٠	SO_4>١٠,٠٠٠	V وإضافة المواد البوزولانية++	٠,٤٥

الانكليزية	الوصف والتسمية	نوع الاسمنت (ASTM)
Ordinary Portland	اسمنت عادي	Type I
Modified cement	اسمنت معدل (متوسط المقاومة للكبريتات)	Type II
High early strength Portland	اسمنت سريع التصلد	Type III
Low heat Portland	اسمنت منخفض الحرارة	Type IV
Sulfate resisting Portland	اسمنت مقاوم للكبريتات	Type V

مع الإشارة إلى إمكانية إضافة البوزولان أو خبث الافران إلى الاسمنت فنحصل على:

Portland-pozzolana	اسمنت بوزولاني	Type IP
Slag cement	اسمنت الخبث	Type S

تخزين الاسمنت

الأسمنت مادة بناء استرطابية (شره للماء). يتفاعل بسرعة مع الرطوبة (سواء في شكل سائل أو بخار). عند وجود الرطوبة يخضع الأسمنت لتفاعل كيميائي يسمى **الإماهة**. بمجرد حدوث عملية الإماهة، يصبح الأسمنت فاسد أو غير صالح للاستخدام. يمكن أن يظل الأسمنت في حالة جيدة طالما أنه لا يتلامس مع الرطوبة. الرطوبة هي أسوأ عدو للأسمنت، وبالتالي لا يتم تخزين أكياس الأسمنت بشكل عام لفترة طويلة.

عمر الأسمنت ٣ أشهر يفقد ٢٠-٣٠٪ من قوته

عمر الأسمنت ٦ أشهر يفقد ٣٠-٤٠٪ من قوته

عمر الأسمنت ١٢ شهر يفقد ٤٠-٥٠ من قوته

لذلك ينصح الخبراء بشدة باستخدام الأسمنت الطازج قدر الإمكان عمليًا. يمكن أن يؤدي استخدام الأسمنت القديم إلى مشاكل مختلفة مثل: تطور الشقوق والتسربات والتآكل وما إلى ذلك، كما أنه يزيد من تكلفة صيانة هيكل البناء ويؤثر على عمر الهيكل.

طرق واحتياطات تخزين الإسمنت :

- يخزن الإسمنت داخل مستودعات أو صوامع محكمة الإغلاق وبشكل يضمن عدم تسرب الرطوبة إليه.
- ترتيب الشحنات المختلفة وبطريقة يسهل فيها تمييزها عن بعضها البعض، على أن يتم إخراجها من المستودعات واستخدامها بنفس ترتيب إدخالها.
- يسجل تاريخ الإنتاج وتاريخ التوريد إلى الموقع لكل إرسالية ويفضل وضع ملصقات خاصة لكل إرسالية مبينا عليها تلك التواريخ.
- ترص أكياس الإسمنت على قاعدة خشبية مرتفعة عن مستوى أرضية المستودع بما لا يقل عن ١٠سم.
- تكون أكياس الإسمنت بعيدة عن جدران المستودع بما لا يقل عن ١٥سم.

أسئلة عامة عن المحاضرة

اختر المصطلح العلمي المناسب:			
تسمى التفاعلات التي تحدث عند إضافة الماء للاسمنت:			
الشك الابتدائي	الاماهة	الكلنكرة	رتبة الخرسانة
الزمن اللازم لوصول الخرسانة لدرجة من التصلب لاتستطيع ابرة فيكا اختر اقها تحت تأثيروزنها الذاتي يسمى:			
زمن الشك النهائي	زمن الشك الابتدائي	الاماهة	زمن التصلد
يسمى جهاز التجربة المستخدمة لتعيين زمن الشك الابتدائي والنهائي للخرسانة			
لوشاتلييه	أبرامز	لوس أنجلوس	فيكا
يسمى الجهاز المستخدم لتعيين ثبات حجم الاسمنت وقياس التمدد:			
لوشاتلييه	أبرامز	لوس أنجلوس	فيكا

تتطلب المواصفات القياسية ألا يحدث الشك الابتدائي قبل مضي:			
45 ساعة	45 ثانية	45 دقيقة	45 يوم
الاسمنت Type 5 هو اسمنت:			
بورتلاندي عادي	مقاوم للكبريتات	سريع التصلد	منخفض الحرارة
الاسمنت Type 3 هو اسمنت:			
بورتلاندي عادي	مقاوم للكبريتات	سريع التصلد	منخفض الحرارة
عند صب الكتل الخرسانية الضخمة يفضل استخدام اسمنت من النوع:			
بورتلاندي عادي	مقاوم للكبريتات	سريع التصلد	منخفض الحرارة

تنص المواصفات والمقاييس على أنه إذا نزلت الإبرة مسافة (10 ملم) تعتبر نسبة الماء المضافة هي نسبة الماء القياسية وإلا تعاد التجربة مع زيادة نسبة الماء المضاف أو إنقاصها