مقرر تكنولوجيا المواد

لطلاب الهندسة المعمارية

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 الثامن عشر بوضع النِسَب الصحيحة من الحجر الكلسي والطين لتكوين الإسمنت الجيد.

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

الاسمنت البورتلاندي

مسحوق ناعم يتحول بداية إلى عجينة إسمنتية طرية لاصقة إذا أضيف لها الماء، ثم تتصلب بعد فترة من الزمن وتتحول إلى مادة قاسية، وتكتسب مع الوقت مقاومة خصوصاً 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 والغضار.
- 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%

Quartz ore خام السيليكا

Magnetite خام الحديد

Bauxite خام الألمنيوم

الصيغ الكيميائية والرموز المعتمدة لمكونات الاسمنت

المادة الخام	الاختصار	الصيغة	المكون
الأحجار الكلسية	C	Ca0	أكسيد الكالسيوم (الجير)
خامات السيليكا /الكوارتز والغضار	S	SiO2	ثاني أكسيد السيليكون (السيليكا)
البوكسيت والغضار	A	Al2O3	أكسيد الألومنيوم (الألومينا)
الماغنيتيت والهيماتيت	F	Fe2O3	أكسيد الحديد
	H	H2O	الماء
الجبص	S	SO3	كبريتات

المنارة
MANARA UNIVERSITY

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.

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

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".

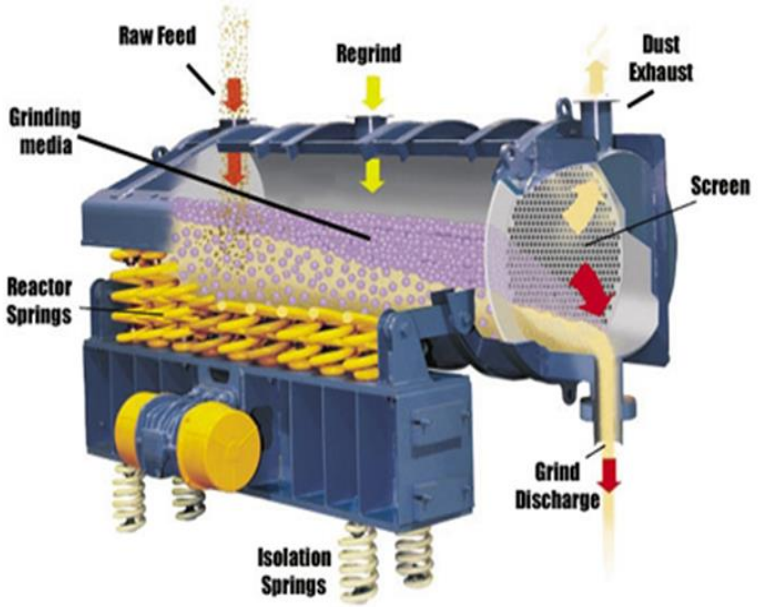
جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

4- مرحلة التبريد والطحن النهائي لتصنيع الإسمنت:

يتم تبريد الكلنكر. وبهذا فإنه يطلق حرارة يعاد استخدامها عن طريق توجيهها إلى الفرن. يتم 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 الكلسي 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:

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

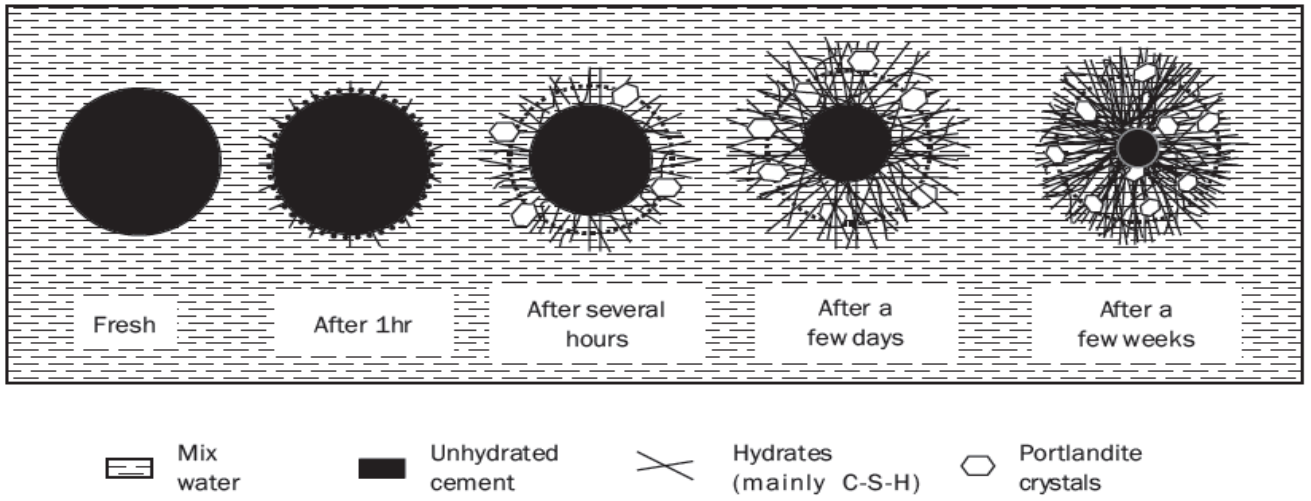
MANARA UNIVERSITY

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

زمن الشك الابتدائي :الزمن الذي تبدأ عنده العجينة الاسمنتية بفقدان لزوجتها النسبية و لدونتها ويجب أن لا تقل مدته عموماً عن 45 دقيقة ولا تزيد عن ساعتين.

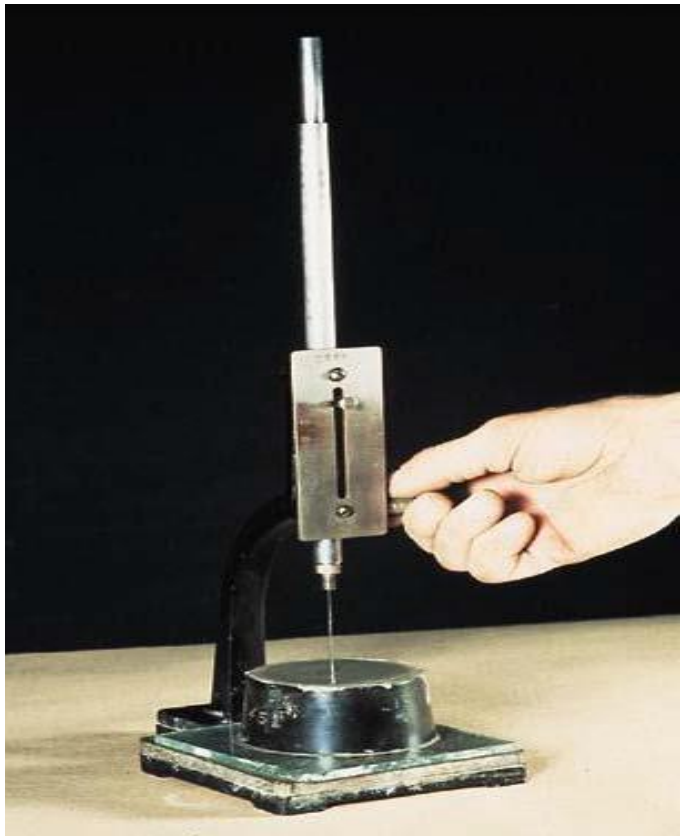
زمن الشك النهائي: الزمن اللازم لوصول الخلطة الاسمنتية لدرجة من التصلب لا تستطيع إبرة اختراقها أثناء سقوطها من ارتفاع محدد تحت وزنها الذاتي، زمن الشك النهائي حوالي 10 ساعات.

زمن التصلد يبدأ من 10 ساعات الى 28 يوم. وبالطبع يتغير عدد الساعات حسب نوع الاسمنت والحرارة و الاضافات الكيميائية..



توضيح للتفاعلات والتغيرات الحاصلة لحبيبات الاسمنت عند الاماهة

فى حالة الشك السريع لن يكون هناك وقت كاف لنقل الخرسانة الى موقع الصب قبل فقد لدونتها وفى الحالة الثانية يحتاج الشك الى وقت طويل مما يعمل على تعطيل العمل وتأخر الانتفاع بالمنشأ وذلك لتأخر الحصول على المقاومة



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)

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

تجربة القوام (فيكا)

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 .

تنص المواصفات والمقاييس على أن القوام القياسي للعجينة الاسمنتية (w/c) هو القوام الذي يسمح لغاطس جهاز فيكا (plunger) بالاختراق حتى (5-7mm من قاع القالب) وإلا تعاد التجربة مع تغيير نسبة الماء زيادة أو نقصان.

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 .

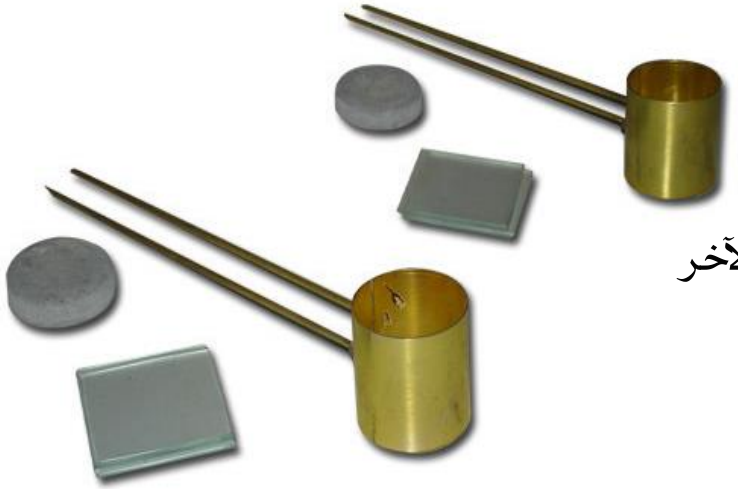
تعريف زمن الشك النهائي

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.

MANARA UNIVERSITY

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 100 gr 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 ليغلى 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 10 mm

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

أنواع الإسمنت:

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

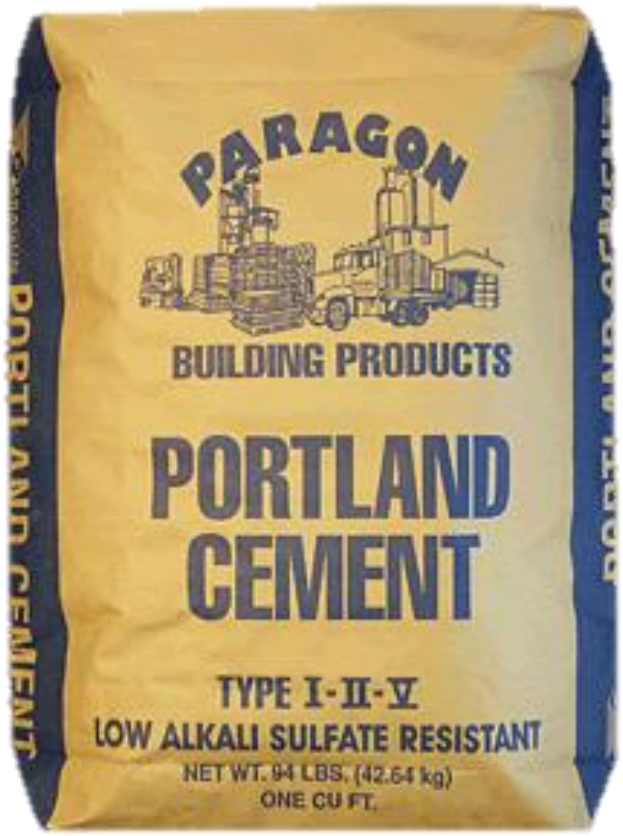
١ - إسمنت بورتلاندي عادي TYPE 1

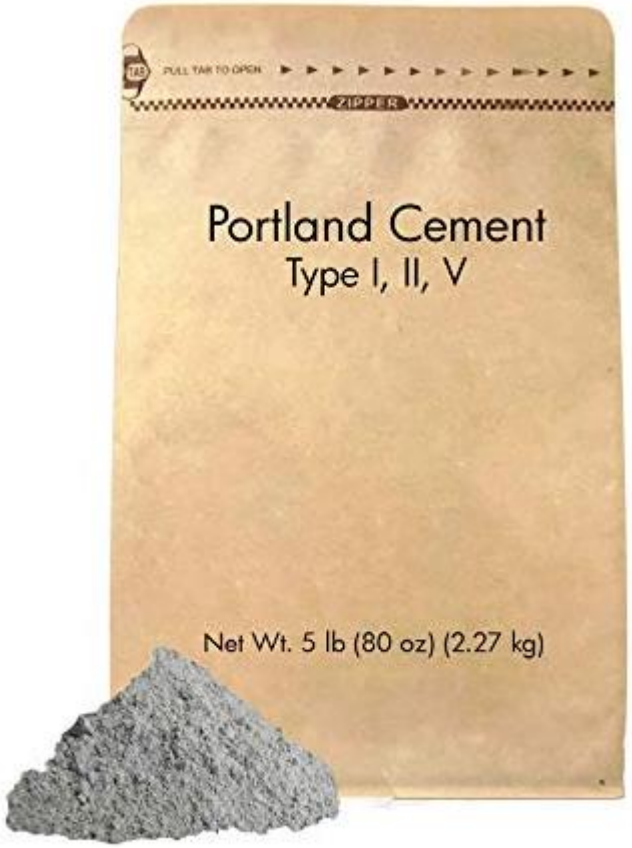
٢ - إسمنت متوسط المقاومة للكبريتات TYPE 2

٣ - إسمنت سريع التصلد TYPE 3

٤ - إسمنت منخفض الحرارة TYPE 4

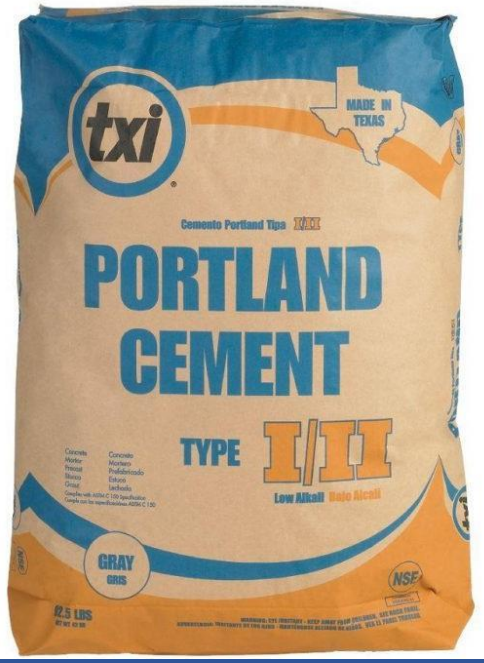
٥ - إسمنت مقاوم للكبريتات TYPE 5





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.



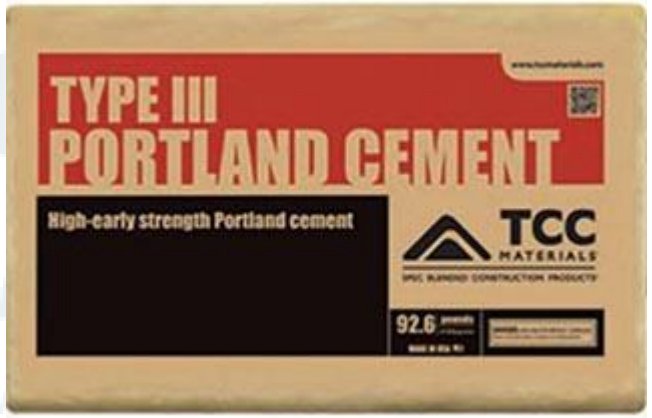
٢ - الإسمنت متوسط المقاومة للكبريتات TYPE 2

- 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.

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

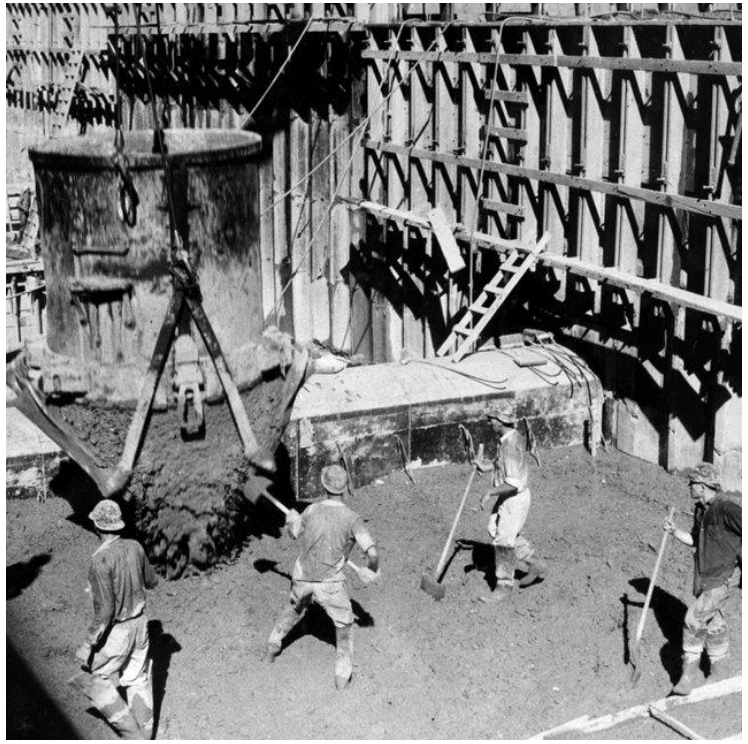
٣ - الإسمنت سريع التصلد TYPE 3

- 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	$0.00 \le SO_4 < 0.10$	$0 \le SO_4 < 150$	–	–
معتدل	$0.10 \le SO_4 < 0.20$	$150 \le SO_4 < 1500$	II	٠,٥٠
شديد+	$0.20 \le SO_4 \le 2.00$	$1500 \le SO_4 < 10,000$	V	٠,٤٥
شديد جداً +	$SO_4 > 2.00$	$SO_4 > 10,000$	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) C3A <8%	Type II
Rapid Hardening Portland	اسمنت سريع التصلد More C3S	Type III
Low heat Portland	اسمنت منخفض الحرارة (C3S <40%)	Type IV
Sulfate resisting portland	اسمنت مقاوم للكبريتات (C3A<5%)	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: ظهور تشققات وحدوث تسريبات والتآكل وما إلى ذلك، كما أنه يزيد من تكلفة صيانة هيكل البناء ويؤثر على عمر الهيكل.

جامعة MANARA UNIVERSITY

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.

المَنارة
MANARA UNIVERSITY

أسئلة عامة عن المحاضرة

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

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 اختراقها تحت تأثير وزنها 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

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

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

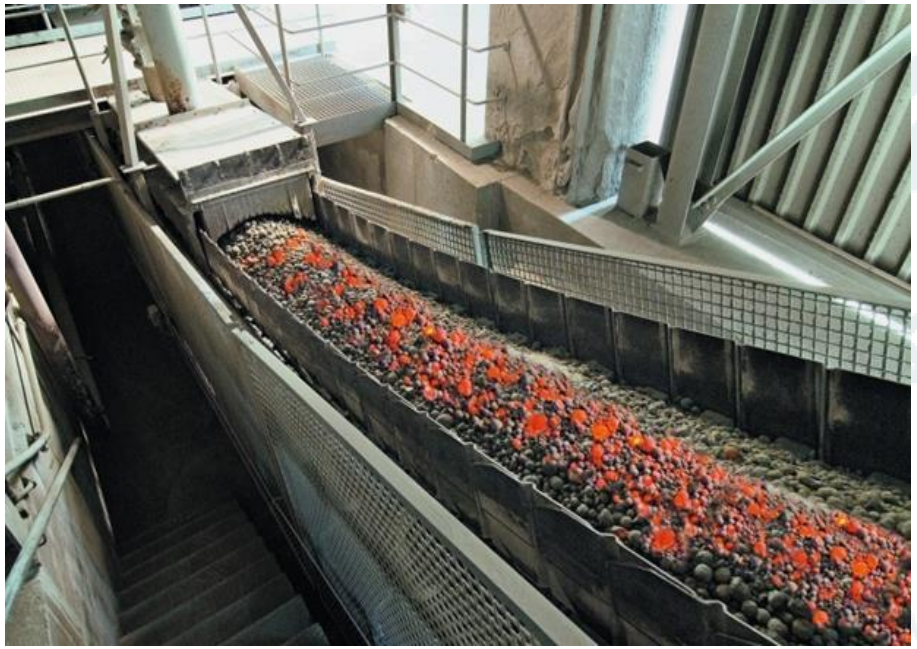
MANARA UNIVERSITY

$$\text{معامل السيليكا} = \frac{\text{النسبة المئوية للسيليكا}}{\text{النسبة المئوية للألومينا} + \text{النسبة المئوية للحديد}}$$

إذا زاد معامل السيلكا عن 7.2 نحصل على اسمنت بطيء التصلب

إذا لم تتوزع السيلكا بين المكونات بشكل جيد فإننا نحصل على اسمنت غير ثابت وضعيف لعدم تكامل التفاعل والاتحاد بين الجير والسيلكا أثناء الحرق

المواد التي تحوي معامل سيليكا صغير (أقل من 3.2) يكون حرقها أسهل ولكنها تسبب صعوبات في الفرن الدوار



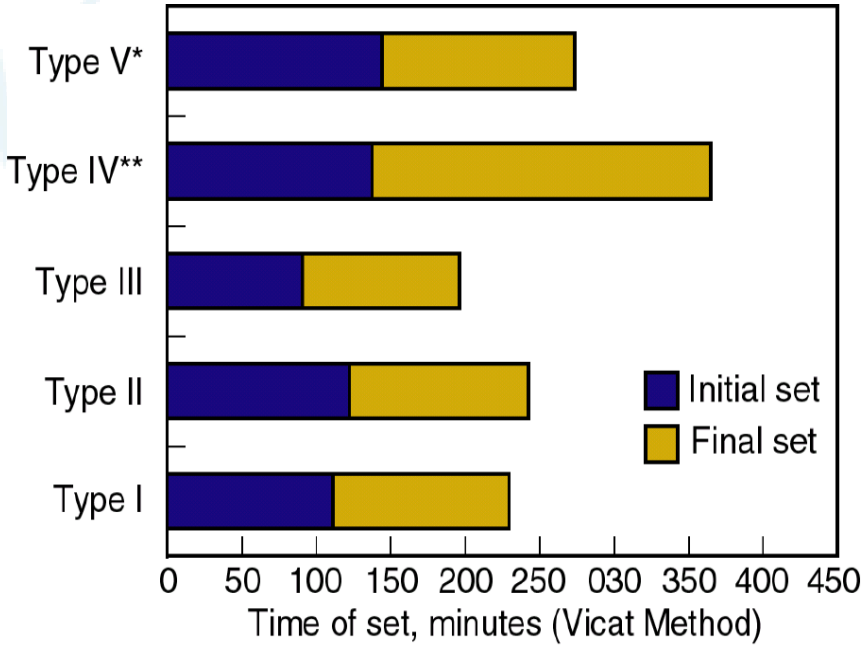


Table 3.7. General features of the main types of portland cement.

	Classification	Characteristics	Applications
Type I	General purpose	Fairly high C_3S content for good early strength development	General construction (most buildings, bridges, pavements, precast units, etc)
Type II	Moderate sulfate resistance	Low C_3A content (<8%)	Structures exposed to soil or water containing sulfate ions
Type III	High early strength	Ground more finely, may have slightly more C_3S	Rapid construction, cold weather concreting
Type IV	Low heat of hydration (slow reacting)	Low content of C_3S (<50%) and C_3A	Massive structures such as dams. Now rare.
Type V	High sulfate resistance	Very low C_3A content (<5%)	Structures exposed to high levels of sulfate ions
White	White color	No C_4AF, low MgO	Decorative (otherwise has properties similar to Type I)

المنارة
MANARA UNIVERSITY