

Republic of Iraq  
The Ministry of Higher Education  
& Scientific Research  
University of Al-Maarif  
Department of Civil Engineering



Lecturer Name: Hawaa Abdulkareem Obaid  
Academic Status: MSc. In Civil Engineering  
Qualification: - Assistant Lecturer  
Course Material: Technology of Concrete  
Grade Level: second Stage

# **Lecture 2**

## **Cement (manufacture, chemical and physical properties)**



## الاسمنت البورتلاندي (Portland Cement)

### Definition of cement

### 1- تعريف الاسمنت :

وهي المادة التي تمتلك خواص تماسكية ( Cohesive ) وتلاصقيه ( Adhesive ) بوجود الماء مما يجعله قادرا على ربط مكونات الخرسانة بعضها ببعض و تماسكها مع حديد التسليح وتحويلها الى وحدة كاملة مترابطة. والاسمنت له خاصية التجمد ( Setting ) والتصلب ( Harding ) بفعل التفاعلات الكيماوية وبوجود الماء لذلك يعرف بالأسمنت المائي أو الهيدروليكي (hydraulic cement).

اكتشف الاسمنت البورتلاندي (Cement Portland) من قبل البناء الإنكليزي جوزيف اسبيدن عام 1824 وذلك بحرق خليط من الطين (Clay) والحجر الجيري الصلب (limestone hard) المسحوق ناعما في الفرن وسمي بالأسمنت البورتلاندي نسبة الى جزيرة بورتلاند بإنكلترا التي تحتوي أحجار البناء التي لها نفس لون وجودة الاسمنت البورتلاندي.

### Manufacturing of cement

### 2- صناعة الاسمنت :

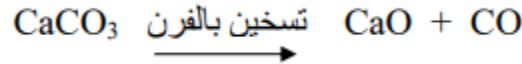
يصنع الاسمنت وذلك بخلط مواد كلسية مثل الحجر الجيري ( Lime Stone )  $CaCO_3$  أو الحجر الجيري الطباشيري ( Chalk ) مع مواد طينية مثل الأحجار الطينية الرخوة (Shale) أو الطين (Clay).



### 3- المكونات الرئيسية الداخلة في صناعة الاسمنت البورتلاندي:

#### What are the main components of Portland Cement?

1- أكسيد الكالسيوم (CaO) وهذا يوجد في الحجر الجيري (CaCO<sub>3</sub>) والحجر الجيري الطباشيري.



2- ثاني أكسيد السليكون أو السليكا (SiO<sub>2</sub>) وهذا يوجد في الطين.

3- الألومينا والحديد وهذه موجودة في الطين.

4- المغنيسيا والقلويات (Alkalis), الصوديوم, الكالسيوم, البوتاسيوم) والفوسفات وهذه موجودة في الطين.

يتم طحن وخط المواد الأولية بصورة جيدة وبنسب محددة ومن ثم حرقها بفرن دوار كبير (kiln Rotary) قطره حوالي (5m) وطوله (150m) بدرجة حرارة تتراوح بين (1300-1500°C) حيث تنصهر المادة وتتكتل على شكل كرات صغيرة تعرف بالكلنكر (Clinker) ومن ثم يبرد الكلنكر ويطحن الى مسحوق ناعم بعد إضافة كبريتات الكالسيوم المائية (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) والمعروفة بالجبس (Gypsum) واللون الرمادي للاسمنت البورتلاندي ناتج عن وجود عنصر الحديد.

#### Cement Manufacturing Process

#### طرق صناعة الاسمنت:

1- الطريقة الرطبة (Process Wet) يتم طحن ومزج المواد الأولية بوجود الماء وهذه الطريقة تستعمل عندما تكون نسبة الرطوبة في المواد الأولية عالية .

2- الطريقة الجافة (Process Dry) يتم طحن ومزج المواد الأولية بحالتها الجافة وهذه الطريقة تستعمل :-

\* عندما تكون المواد الأولية صلدة لا تتفتت بالماء .

\* في البلدان الباردة لمنع تجمد الماء في الخليط.

\* في حالة شحة الماء اللازم لعملية الخلط.



## المقارنة بين الطريقة الرطبة والجافة : Difference between wet and dry process

ت	الطريقة الرطبة	الطريقة الجافة
1-	حجم الفرن الدوار اكبر.	حجم الفرن الدوار اصغر.
2-	كمية الوقود اللازمة لإزالة الرطوبة اكبر.	كمية الوقود اللازمة لإزالة الرطوبة اقل.
3-	اقل اقتصادية.	أكثر اقتصادية.
4-	يمكن الحصول على مواد متجانسة بسهولة.	لا يمكن الحصول على مواد متجانسة بسهولة.
5-	تحتاج المكائن والمعدات الى صيانة وإدامة اقل.	تحتاج المكائن والمعدات الى صيانة وإدامة أكثر.

جدول رقم (1) المقارنة بين الطريقة الرطبة والجافة.

يصنع الاسمنت وذلك بخلط مواد كلسية مثل الحجر الجيري ( Stone Lime )  $CaCO_3$  أو الحجر الجيري الطباشيري Chalk مع مواد طينية مثل الأحجار الطينية الرخوة (الطفل) Shale أو الطين Clay بعد طحنها و تجرى عملية الطحن و الخلط بالطريقة الجافة أو الرطبة و يتم تحليل المواد الخام ثم طحنها و خلطها بالنسب المحسوبة لأي نوع من انواع الأسمنت.

تحرق المواد باستخدام فرن كبير يسمى بالفرن الدوار ( kiln rotary ) ذو شكل اسطواني مصنع من الحديد ومبطن من الداخل بمادة مقاومة للانصهار (طابوق ناري). تعاني المواد سلسلة من التفاعلات الكيماوية :

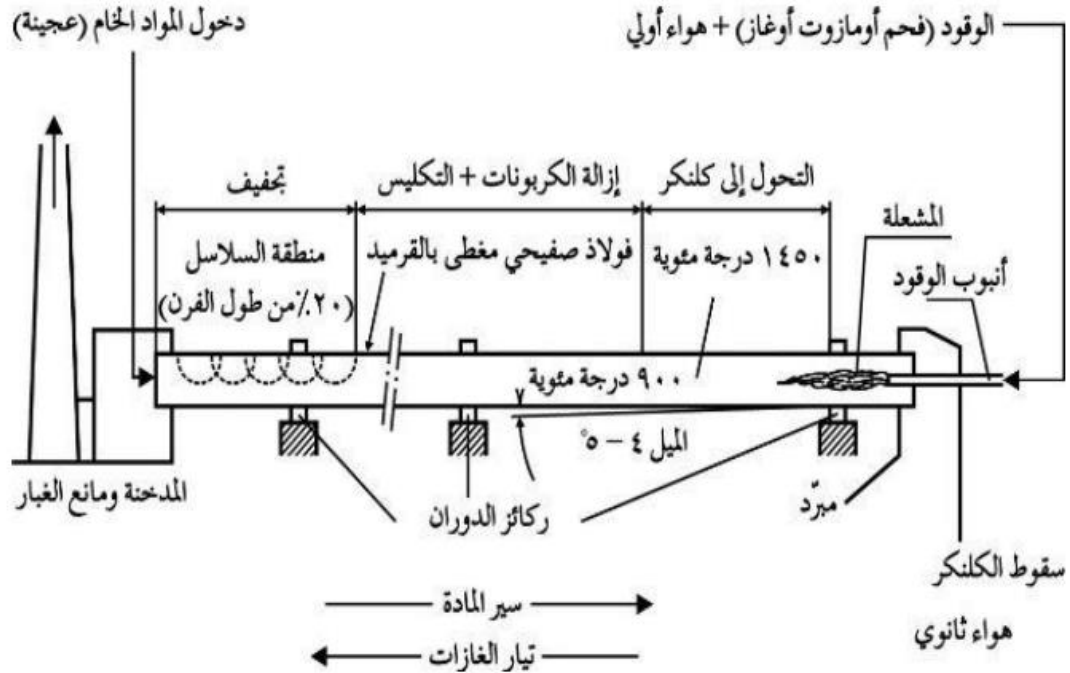
- 1- لغاية  $100^{\circ}C$  تفقد المواد الاولية الماء الطليق.
- 2- بين  $150^{\circ}C$  -  $500^{\circ}C$  يتم فقدان الماء المتحد كيميائياً.
- 3- عند درجة حرارة  $600^{\circ}C$  يبدأ تحلل كاربونات المغنيسيوم الموجودة في حجر الكلس .
- 4- عند درجة حرارة  $900^{\circ}C$  يبدأ تحلل كاربونات الكالسيوم .
- 5- مرحلة ذوبان المواد الرئيسية مثل أكاسيد الكالسيوم والألمونيوم والحديد في درجة حرارة  $1250^{\circ}C$  -  $1350^{\circ}C$  والتي عندها بداية الانصهار.



6- في مناطق الفرن السفلى حيث درجات الحرارة العالية  $1300 - 1500$  °C تتحول من 20 – 30 % من المادة الجافة إلى سائلة (انصهار)، وتتم إعادة اتحاد الجير (الكلس) والسليكا والألومينا وتكوين مركبات جديدة وهي:

- 1- سيليكات ثلاثي الكالسيوم  $C_3 S$
- 2- سيليكات ثنائي الكالسيوم  $C_2 S$
- 3- ألومينات ثلاثي الكالسيوم  $C_3 A$
- 4- ألومينات حديد رباعي الكالسيوم  $C_4 AF$

وفي النهاية تتكثف المادة إلى كرات صغيرة قطرها 25-3 mm تسمى الكنكر ومن ثم يبرد الكنكر ويطحن إلى مسحوق ناعم بعد إضافة كبريتات الكالسيوم المائية ( $2CaSO.2H_2O$ ) والمعروفة بالجبس (Gypsum) وفائدته تنظيم زمن التجمد الاسمنت. اللون الرمادي الاسمنت البورتلاندي ناتج عن وجود عنصر الحديد. والشكل رقم (1) يبين صورة ورسم توضيحي للفرن الدوار في صناعة الاسمنت.



شكل رقم (1) صورة ورسم توضيحي للفرن الدوار في صناعة الاسمنت.



## الخصائص الفيزيائية للأسمنت البورتلاندي:

### Physical Properties of Portland Cement

- 1- الاسمنت البورتلاندي عبارة عن مسحوق رمادي حبيباته لها وزن نوعي (3.15) وحجم يتراوح بين (20-80) مايكرون وحجم الحبيبة يعتمد على طريقة الطحن ويمكن أن يتغير حسب متطلبات الاسمنت .
- 2- جزيئات الاسمنت ذات حجم صغير بحيث من الصعوبة قياسها بالتحليل المنخلي كما في حالة الركام, وبذلك يتم اللجوء الى تحديد المساحة السطحية النوعية ( Specific Surface Area) لوحدة الوزن كقياس بديل .
- 3- يتم تعيين المساحة السطحية النوعية الاسمنت في الولايات المتحدة الأمريكية بطريقة ( Blaine ) وهي الأكثر شيوعا "ومبنية على أساس قياس سرعة انتشار الهواء تحت ضغط ثابت خلال نموذج صغير مضغوط من الاسمنت . وتتراوح قيم المساحة السطحية النوعية المقاسة بهذه الطريقة بين (300-500 m<sup>2</sup>/Kg) لأغلب أنواع الاسمنت المستعمل.

## الخصائص الكيميائية للأسمنت البورتلاندي

### Chemical Properties of Portland Cement

ان المواد الأولية المستعملة في صناعة الاسمنت البورتلاندي تتكون بصورة رئيسية من :

- |                   |                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------------|
| ويرمز له بالحرف C | 1- الحجر الجيري (CaO)                               |
| ويرمز له بالحرف S | 2- السليكا (SiO <sub>2</sub> )                      |
| ويرمز له بالحرف A | 3- الالومينا (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )      |
| ويرمز له بالحرف F | 4- اوكسيد الحديد ( Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) |

تتفاعل هذه المركبات مع بعضها البعض داخل الفرن الى ان يتم الوصول الى حالة التوازن الكيميائي وينتج عن هذا التفاعل الكلنكر (Clinker) يحتوي الكلنكر على أربعة مركبات رئيسية مبينة في الجدول رقم (2) أدناه :

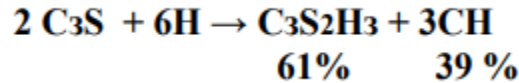


الرمز	الرمز الكيميائي	اسم المركب	ت
C <sub>3</sub> S	3CaO SiO <sub>2</sub>	سليكات ثلاثي الكالسيوم	-1
C <sub>2</sub> S	2CaO SiO <sub>2</sub>	سليكات ثنائي الكالسيوم	-2
C <sub>3</sub> A	3CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	الومينات ثلاثي الكالسيوم	-3
C <sub>4</sub> AF	4CaO Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	الومينات حديد رباعي الكالسيوم	-4

جدول رقم (2) يوضح مكونات الاسمنت الرئيسية.

### 1 - سليكات ثلاثي الكالسيوم C<sub>3</sub>S

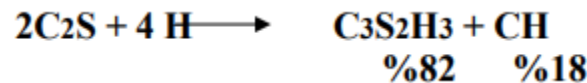
- تتواجد هذه السليكات بكميات كبيرة في الاسمنت .
- على شكل حبيبات صغيرة متساوية الابعاد وعديمة اللون تتحلل ببطئ أثناء تبريدها وتبقى ثابتة لا تتغير إذا لم يكن التبريد بطيئاً وتبقى مستقرة في درجات الحرارة الاعتيادية.
- ويحتاج للإمهاء الكلية 24% ماء من وزن الاسمنت ويمكن التعبير عن تفاعله مع الماء بالمعادلة التالية:



- وهو المسؤول عن المقاومة المبكرة لعجينة الاسمنت خلال الأربعة أسابيع الأولى والسبب في ذلك ان C<sub>3</sub>S يتميه بسرعة اكبر في البداية ويتميه بشكل كامل خلال ال (28) يوم .
- للحصول على خرسانة عالية المقاومة في وقت مبكر يستعمل الاسمنت الحاوي على نسبة عالية من C<sub>3</sub>S .

### 2 - ثنائي سليكات الكالسيوم C<sub>2</sub>S

- ويشارك في اكتساب المقاومة للاسمنت بعد (28) يوم ( لأنه يتميه ببطئ خلال الاربع اسابيع الأولى ) ولغاية سنة .
- يحتاج لإمهاء الكلية 21% ماء من وزن الاسمنت ويمكن التعبير عن تفاعله مع الماء بالمعادلة التالية:







### 3 - ثلاثي الومينات الكالسيوم C<sub>3</sub>A

- يتواجد هذا المركب بكمية قليلة في معظم أنواع الاسمنت مقارنة مع باقي المركبات وذو بلورات منشورية غامقة اللون وعند تفاعله مع الماء بصورة منفردة يبعث كمية كبيرة من الحرارة مكونا بلورات سداسية من الومينات الكالسيوم ألمانية.



- هذا النوع من التفاعل يؤدي الى حدوث التجمد الفجائي Setting flash ولكن لوجود الجبس الذي يضاف الى الكنكر قبل عملية طحن الاسمنت حيث يتفاعل الجبس مع C<sub>3</sub>A مكونا "سلفو الومينات الكالسيوم الغير ذائبة حول حبيبات ال C<sub>3</sub>A فيؤخر تفاعلها مع الماء وبذلك سيتحدد هيكل عجينة الاسمنت بنواتج المركب C<sub>3</sub>S حيث تكون مساميته قليلة جدا" مقارنة مع الهيكل المتكون من C<sub>3</sub>A .
- يتفاعل هذا المركب مع أملاح السلفات (الكبريتات) الموجودة بكثرة في الرمال أو في التربة والمياه الجوفية التي تتعرض لها الكتلة الخرسانية مكونا سلفو الومينات الكالسيوم (الترنجابت ) مما يؤدي الى زيادة حجم الكتلة الخرسانية فيسبب تشقق وتلف الكتلة الخرسانية .
- إن وجود هذا المركب في الاسمنت غير مرغوب فيه حيث أن مشاركته في إعطاء قوة الاسمنت قليلة جدا" وتتحدد في الايام الأولى فقط بين 1-3 يوم .
- هذا المركب يعمل كمادة مساعدة للانصهار ويسهل اتحاد الكلس مع السليكا فهو مفيد في عملية تصنيع الاسمنت لانه يقلل من الحرارة اللازمة لتكوين الكنكر.

### 4 - الومينات حديد رباعي الكالسيوم C<sub>4</sub>AF

- يتواجد هذا المركب بكميات صغيرة في تركيب الاسمنت مقارنة مع المركبات الثلاثة الأخرى, وهذا المركب لا يؤثر على عجينة الاسمنت ولكنه يتفاعل مع الجبس ليكون سلفوفرين الكالسيوم الذي يعجل بعملية الاماهة ويعمل كمادة مساعدة على الانصهار.



## 5 - المركبات الثانوية Minor Components of Cement

مثل ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{SO}_3$ ) والمركبين الأخيرين تدعى بالقلويات ويتراوح وزنها بين 0.4–1.3 % في الاسمنت البورتلاندي . وبإمكان هذه القلويات أن تتفاعل مع بعض أجزاء السليكا الفعالة الموجودة في الركام ضمن الخرسانة المتصلبة وناتج التفاعل زيادة الحجم للخرسانة مما يؤدي الى تشقق وتلف الخرسانة . ومن الممكن تقليل تأثير هذا التفاعل بتقليل نسبة القلويات ( $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ) بنسبة لا تزيد عن 0.6 % أو بإضافة مواد من السليكا المسحوقة سحقا "ناعما" حيث تتفاعل مع القلويات قبل تصلب الخرسانة. وتسمى بالقلويات حيث تتفاعل القلويات مع الركام فتسبب تفتت الخرسانة.

## 6 - المواد الغير قابلة للذوبان (I.R) Insoluble residue

هي الجزء من نموذج الاسمنت الغير قابل للذوبان في حامض الهيدروكلريك HCl وتتشتأ من السليكا الغير متفاعلة والشوائب الموجودة في الجبس، وهي مقياس لتلوث الاسمنت وكذلك تعبر عن مدى اكتمال التفاعلات الكيماوية في داخل الفرن وهذه المواد تأتي من الشوائب الموجودة في الجبس وتحدد المواصفات البريطانية والعراقية نسبتها بـ 1.5% من وزن الاسمنت أما المواصفات الأمريكية فتحدها بنسبة 0.75 % .

## 7 - الفقدان بالحرق (L.O.I) Loss on ignition

هو مقدار الفقدان في وزن نموذج الاسمنت عند حرقه الى درجة حرارة الاحمرار (1000 °C) ويعبر عن مقدار الكربنة (Carbonation) وعن عملية الاماهة للجير الحر (CaO) والمغنيسيا الحرة (MgO) الموجودين في الاسمنت بسبب خزن الاسمنت لفترة طويلة أو لتعرضه للظروف الجوية . إن النسبة المسموح بها للفقدان بالحرق وحسب المواصفات البريطانية والأمريكية هي 3% , 4% من وزن الاسمنت على التوالي . والجدول رقم (3) يوضح الاكاسيد والمركبات الأساسية والثانوية كنسب مئوية للأسمنت النموذجي.



النسبة المئوية	المركب الأساسي	النسبة المئوية	الأكسيد
54.1	C <sub>3</sub> S	63	أكسيد الكالسيوم
16.6	C <sub>2</sub> S	20	أكسيد السليكون
10.8	C <sub>3</sub> A	6	أكسيد الألمنيوم
9.1	C <sub>4</sub> AF	3	أكسيد الحديد
المركبات الثانوية			
النسبة المئوية	الأكسيد		
1.5	Mg O		
2	SO <sub>3</sub>		
1	K <sub>2</sub> O.Na <sub>2</sub> O		
1	Others		
2	الفقدان بالحرق	Loss On Ignition ( L.O.I)	
0.5	المواد الغير قابلة للذوبان	Insoluble Residue (I.R)	

جدول رقم (3) الأكاسيد والمركبات الأساسية والثانوية كنسب مئوية للأسمنت النموذجي.