

الباب الحادي عشر

صناعة الأسمنت

obeikandi.com

## الباب الحادي عشر

### صناعة الأسمنت

كلمة الأسمنت بشكل عام تعتبر مادة رابطة (Adhesive Materials) قادرة على ربط الأجزاء والكتل الصلبة في شكل كبير متماسك . هذا التعريف يشمل أنواع كثيرة من المواد المختلفة . ولكن هذا التعريف بالنسبة للأغراض الهندسية بصفة عامة يطلق على الأسمنت الجيري والذي يحتوى على المواد الجيرية كأساس في مكوناته . ويمكن تقسيم أنواع الأسمنت إلى قسمين :

#### أ- الأسمنت الغير هيدروليكي (Non-Hydraulic Cements) :

هذا النوع من الأسمنت غير قادر على التماسك (Setting) واكتساب الصلابة (Compressive Strength) في وجود الماء ، مثال على ذلك الجير . أو غير قادر على الثبات من حيث الصلابة في وجود المياه ، مثال على ذلك الجبس .

#### ب- الأسمنت الهيدروليكي (Hydraulic Cements) :

هذا النوع من الأسمنت له القدرة على التماسك (الشك) واكتساب المتانة والصلابة في وجود المياه . ويعتبر الأسمنت البورتلاندي (Portland Cement) من أهم هذه الأنواع من الأسمنت . وتعرف كلمة الشك (Setting) بأنها تحول المادة من الحالة اللينة (العجينة) إلى الحالة الصلدة ،

أما كلمة الصلابة (hardening) هي عبارة عن اكتساب المادة سواء كانت المونة أو الخرسانة للمانة الميكانيكية (Compressive strength) .

### الأسمنت البورتلاندي العادي Ordinary Portland Cement :

#### 1- المواد الخام المستخدمة في صناعة الأسمنت البورتلاندي :

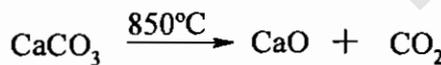
تنقسم المواد الخام المستخدمة في صناعة الأسمنت البورتلاندي إلى قسمين أساسيين :

#### أولاً المواد الرئيسية (Main Component) :

تتكون المواد الخام الرئيسية المستخدمة في صناعة الأسمنت البورتلاندي من نوعين أساسيين من الخامات وهما :

#### أ- المواد الجيرية (Limestone) :

المواد الجيرية هي خامات طبيعية تحتوي على نسبة عالية جداً من كربونات الكالسيوم (Limestone) والتي تتحول أثناء عملية تصنيع الأسمنت إلى أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون . يعتبر أكسيد الكالسيوم CaO الأكسيد الرئيسي والذي يمثل حتى 67% من التركيب الكيميائي للأسمنت .



#### ب- المواد الطينية (Clays) :

وهذه المواد تحتوي بصفة أساسية في تركيبها الكيميائي على أكسيد السليكا (SiO<sub>2</sub>) وأكسيد الألومنيوم (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) نظراً لاحتوائها على نسب عالية من الكاولين التي يتمثل تركيبه الكيميائي في الصيغة الآتية (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O) . وتمثل نسبة أكسيد السليكا وأكسيد الألومنيوم

نسبة من 20% - 30% من التركيب الكيميائي للأسمنت الخام . والمقصود هنا بالأسمنت الخام (الكلنكر) هو الأسمنت الخارج من الفرن الدوار بعد حرق المواد الخام عند درجة حرارة 1450°م درجة حرارة مئوية وقبل إضافة 4-6% من الجبس ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) .

### ثانياً : المواد المصححة Corrective Materials :

وهي مواد تضاف على الخامتين الأساسيتين (المواد الجيرية والمواد الطينية) وذلك للوصول للتركيب الكيميائي المطلوب للخلط المطلوب لتصنيع الأسمنت (Raw mix) . ومن أهم المصححة المستخدمة هي :

- الرمل (Send) : ونظراً لاحتوائه على نسبة عالية جداً من أكسيد السيليكا ( $\text{SiO}_2$ ) .
- خامات الحديد (Iron Ore) : والتي تحتوى على نسبة عالية من أكاسيد الحديد .
- خام الألومنيوم : والتي يحتوى على نسبة عالية من أكسيد الألومنيوم ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) مثل البوكسيت (Bauxite) .

### 2- التركيب الكيميائي للأسمنت البوتلاندي :

#### Chemical Composition of Portland Cement

الأسمنت البوتلاندي يتكون بصفة أساسية من أربع أكاسيد رئيسية وهي بالترتيب حسب أولوية وجودها من حيث الكيف والكم :

- أ- أكسيد الكالسيوم
- ب- أكسيد السيليكا .
- ج- أكسيد الألومنيوم
- د- أكسيد الحديد .

ويمثل وجود الأربع أكاسيد السابقة الأساسية حوالي 90% من وزن الأسمنت ولذلك تسمى هذه الأكاسيد بالأكاسيد الأساسية أو المكونات الأساسية. أما نسبة الـ 10% الباقية من التركيب الكيميائي للأسمنت تتكون من الماجنيزيا (MgO) والأكاسيد القلوية مثل أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم (K<sub>2</sub>O and Na<sub>2</sub>O) وأكسيد التيتانيوم (TiO<sub>2</sub>) وخامس أكسيد الفوسفور (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) والجبس وتسمى هذه الأكاسيد والمركبات القليلة (Minor Component) .

يوجد تغير تدريجي في التركيب الكيميائي للأسمنت على مدى الأزمنة المختلفة ، وهذا التغير التدريجي يعزى إلى زيادة نسبة الجير (CaO) وانخفاض قليل في نسبة السيليكا (SiO<sub>2</sub>) . ويتكون التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي داخل الحدود المبينة بالجدول رقم (1) :

جدول رقم (1) : حدود التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي

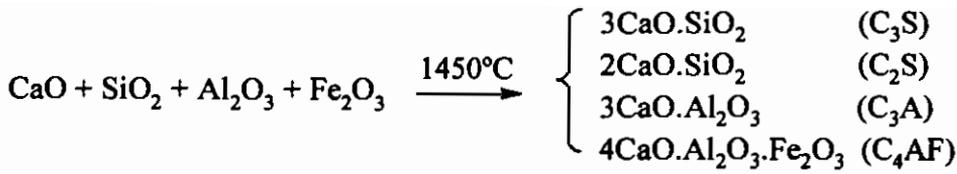
نسبة وجوده	الأكسيد
60-67	CaO
17-25	SiO <sub>2</sub>
3-8	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.5-6	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0.1-5.5	MgO
0.5-1.3	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O
1-3	SO <sub>3</sub>

كما أن التركيب الكيميائي للأسمنت يتمثل بصورة أساسية في الأربعم أكاسيد الرئيسية الآتية :  $Fe_2O_3$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaO$  . لكل أكسيد من هذه الأكاسيد الأربعة دور في تكوين الكلنكر ، ولكن يعظم دور  $CaO$  و  $SiO_2$  ، وذلك لدورهم الأساسي في تكوين سليكات الكالسيوم سواء كانت سليكات ثنائي الكالسيوم وسليكات ثلاثي الكالسيوم ( $2CaO.SiO_2$  and  $3CaO.SiO_2$ ) حيث يعتبر هذين المعدنين هما المسئولين الأساسيين عن الخواص الأساسية للكلنكر حيث تشكل نسبة تواجدهما معاً حتى 75% من محتويات الكلنكر . أما أهمية وجود الأكسيدين الآخرين ( $Al_2O_3$  and  $Fe_2O_3$ ) فهما يساعدان على خفض درجة حرارة تكوين الكلنكر ، وذلك في المساعدة على تفاعل أكسيد الكالسيوم مع ثاني أكسيد السليكون لتكوين سليكات ثنائي وثلاثي الكالسيوم عند درجة حرارة أقل من درجة انصهارهما ، حيث درجة انصهار  $CaO$  تبلغ  $2300^{\circ}C$  ، ودرجة انصهار  $SiO_2$  تبلغ  $1710^{\circ}C$  . لذلك وجود  $Fe_2O_3$  و  $Al_2O_3$  يعملان كمخفض (Fluxing Oxides) لدرجة حرارة انصهار الأكسيدين الأساسيين . حيث أن درجة الحرارة العظمى لتكوين الكلنكر هي  $1450^{\circ}C$  .

## 2- التركيب المعدني للأسمنت الخام

### Mineralogical Composition of Clinker

نتيجة لحرق المواد الخام السابق ذكرها والتي تكون التركيب الكيميائي داخل الحدود الموضحة بالجدول رقم (1) فإنه يحدث تفاعل كيميائي بين هذه الأكاسيد عند درجة حرارة عالية ( $1450^{\circ}C$ ) وينتج لهذا التفاعل أربع مكونات رئيسية كالآتي :



ولكل من المكونات الناتجة من هذا التفاعل والتي تسمى معادن (Minerals) أو (Phases) خواص خاصة بها ومحصلة هذه الخواص للمكونات الأربعة السابق ذكرها ، تكون الخواص الأساسية للأسمنت البورتلاندي ، وكما يلي سوف نستعرض خواص كل مكون (Phase) من المكونات الأربعة السابقة :

### خواص للمكونات الأساسية للأسمنت :

#### أ- ثلاثي كالسيوم سليكات (3CaO.SiO<sub>2</sub>) Tricalcium Silicates

يعتبر هذا المركب من أهم مكونات الأسمنت البورتلاندي ويرمز له بالرمز C<sub>3</sub>S حيث يمثل نسبة تتراوح من 35% إلى 55% من نسبة المكونات الأربعة المكونة للأسمنت . ويتميز هذا المركب باكتساب الصلابة والتماسك والمتانة في الأوقات المبكرة من عملية الهيدرة أي بمجرد إضافة الماء للأسمنت أو الخرسانة وفي الأيام الأولى من التفاعل ، وهو المسئول الأول عن الخواص الميكانيكية للأسمنت من حيث المتانة (Compressive Strength) وخاصة في الأوقات المبكرة للتفاعل مع الماء. ويتميز هذا المكون بحرارة تفاعل مرتفعة نسبياً (Heat Hydration) وتبلغ حوالي 500 جول/جم .

## ب- ثنائي كالسيوم سيليكات $(2CaO.SiO_2)$ Dicalcium Silicate :

يوجد هذا المركب في أربع أشكال مختلفة وهي  $\alpha-C_2S$ ,  $\bar{\alpha}-C_2S$ ,  $\beta-C_2S$ ,  $\gamma-C_2S$  ، ويعتبر  $\beta-C_2S$  من أهم هذه الأشكال لأنه له القدرة على اكتساب الخواص الأسمنتية عند تفاعله مع الماء . ويتميز  $\beta-C_2S$  بانخفاض الحرارة المنطلقة عند تفاعله مع الماء حيث تبلغ 25 جول/جم .  
نسبة وجود  $\beta-C_2S$  في الأسمنت حوالي 25% من نسبة المكونات الأربع الأساسية ، وهو المسئول عن زيادة قوة المتانة (Compressive Strength) في الأسمنت وخصوصاً في الأوقات المتأخرة من التفاعل ، أي بعد 28 يوم من بداية تفاعل الأسمنت مع الماء .

## ج- ثلاثي كالسيوم الومينات $C_3A$ Tricalcium Aluminate :

هذا المركب هو المسئول الأول عن عملية الشك في الأسمنت (Setting) . فعند تفاعله مع الماء يحدث شك فوري سريع مع انطلاق كمية كبيرة من حرارة التفاعل تقدر بـ 850 جول/جم . لذلك عند طحن الأسمنت الخام يجب إضافة نسبة حوالي 5% من الجبس الخام لتهدئة عملية الشك ووصولها للمعدل المطلوب . وتمثل نسبة ثلاثي كالسيوم الومينات من النسبة الكلية لمكونات مركبات الأسمنت من 7% إلى 15% .

## د- رباعي كالسيوم الوميني فيرات

### Tetracalcium Alumino Ferrite $C_4AF$

يتفاعل هذا المركب مع الماء بسرعة وتحدث عملية الشك في خلال دقائق مع انطلاق كمية من حرارة التفاعل تقدر بـ 420 جول/جم . وتقدر

الكمية الموجودة منه بنسبة 5% إلى 10% من النسبة الكلية للمكونات الأربعة للأسمنت .

## الخطوات الرئيسية لصناعة الأسمنت البورتلاندي :

### 1- عملية تقييم الخامات الواردة من المحاجر :

وفيها تتم عملية التحليل الكيميائي والمعدني للخامات الرئيسية للوقوف على النسب المطلوبة لخلط الخامات الرئيسية والمواد المصححة للوصول للتركيب الكيميائي للخلطة المراد حرقها بالفرن الدوار لإنتاج الأسمنت الخام المعروف بـ (Clinker) .

### 2- تكسير المواد الخام (المستقدمة من المحاجر) :

يتم ذلك عن طريق استخدام الكسارات (Crushers) للوصول إلى قطر الحبيبات حوالي 2cm ، ثم يخزن كل نوع من المواد الخام منفصلاً عن النوع الآخر في الصوامع .

### 3- نقل الخامات :

تنقل الخامات من أماكن تكسيدها في المحاجر إلى المصنع عن طريق السيور الناقلة للخامات إلى خط الإنتاج .

### 4- تخزين الخامات :

تخزن الخامات في صوامع خاصة بالتخزين وكل خامة لها صومعة خاصة Silo ، كذلك المواد المصححة مثل الرمل والبوكسيت والبيوكسيت كل

فى صومعة خاصة ، وكل هذه الصوامع تدار بطريقة الكترونية وذلك لاتصالهم بالغرفة المركزية للتحكم بالمصنع .

#### 5- تحديد نسب خلط المواد الخام ، وذلك لتحقيق المعايير التالية :

- أ- التركيب الكيميائي المطلوب للمواد الناتجة بعد التفاعل .
- ب- نسبة الجزء المسال أثناء عملية الاحتراق والتي تحدث ما بين 1250°م إلى 1450°م وهى المرحلة التى تتكون فيها ثلاثي كالسيوم سليكات ونسبة الجزء المسال يجب أن تكون فى حدود 18%-25% .
- ج- سهولة اختراق المخلوط (المواد الخام) (Burnability) : حيث يجب خلط المواد الخام بنسب تضمن سهولة الحرق ، وذلك بعدم زيادة نسبة السليكا  $SiO_2$  عن الحد المطلوب ، وأيضاً بتحديد نسب المواد المساعدة على الحرق مثل  $Al_2O_3$  ،  $Fe_2O_3$  ويعتبر هذا العامل مهم جداً فى صناعة الأسمنت للأسباب الآتية :

- ترشيد استهلاك واستخدام الطاقة فى صناعة الأسمنت .
- الحفاظ على بطانة الفرن الدوار من التلف .
- الوصول على النسبة المطلوبة من ثلاثي كالسيوم سليكات  $3CaO.SiO_2$  فى مرحلة التلييد (Sintering Zone) .

#### 6- طحن المواد الخام بعد خلطها (Grinding) :

بعد تحديد نسب الخلط المقررة بناءً على المعايير السابقة ، تطحن هذه المواد طحناً جيداً بواسطة أنواع مختلفة من الطواحين . فى هذه الطواحين تطحن المواد المخلوطة طحناً جيداً لدرجة عالية من النعومة (High

(fineness) ، ثم تتم بعد ذلك عملية الخلط والتجانس (Mixing and Homogeneity) .

وتتم عملية الطحن بطريقتين مختلفتين :

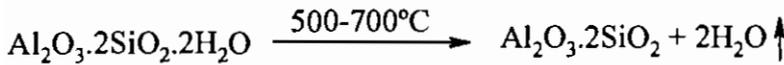
- أ- إما في وجود نسبة كبيرة من المياه (40%-50%) كما هو الحال في تصنيع الأسمنت بالطريقة الرطبة (Wet Process) .
- ب- أو في عدم وجود المياه وتطحن الخامات على الحالة الجافة كما هو الحال في تصنيع الأسمنت بالطريقة الجافة (Dry Process) .

### 7- عملية حرق الخامات لإنتاج الكلنكر (Calcination Process) :

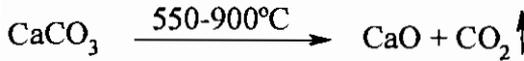
سوف نركز في عملية التصنيع على الطريقة الجافة (Dry Process) لاستخدامها على نطاق واسع أكبر من الطريقة الرطبة . وكذلك كم الإنتاج الكبير في الطريقة الجافة عن كمية الأسمنت المنتج في الطريقة الرطبة ، حيث يصل حجم الإنتاج بالطريقة الجافة حتى  $7000 \text{ t/d}$  ، أما في الطريقة الرطبة فإن حجم الإنتاج لا يزيد عن  $1500 \text{ t/d}$  للفرن الواحد . وهناك أيضاً الكثير من الأسباب التي تفضل استخدام الطريقة الجافة عن الطريقة الرطبة والتي لا يوجد مجال هنا لذكرها .

بعد طحن المخلوط المحضر من الخامات الأساسية السابق ذكرها وذلك في حالته الجافة ، يتم شحن المخلوط في السيكلونات وعددها أربعة مرتبة ترتيباً رأسياً وتسمى (Preheaters) وفيها تترج الحرارة من درجة الحرارة العادية حتى درجة حرارة  $850^\circ\text{م}$  -  $900^\circ\text{م}$  في السيكلون الرابع والأخير والذي ينتهي عند مدخل الفرن الدوار . وفي هذه المرحلة تحدث التفاعلات الآتية :

- تبخر الماء الموجود بالمخلوط فى شكل رطوبة (Evaporation) .
- انطلاق الماء الموجود كأحد مكونات الطفلة .



- تحلل كربونات الكالسيوم (الحجر الجيري) (Dissociation) .



- بدء اتحاد وتفاعل أكسيد الكالسيوم CaO مع أكاسيد الطفلة (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>) .

ب- بعد بلوغ المواد الخام المحروقة فى السليكونات الرأسية عند درجة الحرارة (850م° - 900م°) ، تشحن هذه المواد فى هذه الحالة فى فرن (Rotary kiln) يميل ميلاً خفيفاً على المحور الأفقي ومبطن بأنواع خاصة من الطوب الحراري ، وجسم الفرن مصنوع من الصلب وقطر الفرن يبلغ 1/10 من طوله حيث يبلغ قطر الفرن 5 أمتار وطوله حوالي 50-70 متر ، ويدور الفرن بمعدل 1-3 لفة فى الدقيقة الواحدة .

بعد وصول المخلوط من السيكلون الرابع إلى بداية الفرن وهو الجزء الأعلى من الفرن . يتم حرق المخلوط بداخل الفرن الدوار حيث تختلف درجة حرارة المخلوط من مكان لآخر داخل الفرن حيث تتدرج درجة الحرارة من أعلى الفرن (بداية الشحن) من 1000م° لتصل إلى حوالي 1450م° فى نهايته .

بعد عملية الحريق داخل الفرن وعند الاقتراب من فتحة الخروج حيث درجات الحرارة العالية ، فإن المركبات الناتجة من التفاعلات تكون فى هيئة مادة صلبة رمادية اللون تسمى بالكلنكر (Clinker) أو الأسمنت الخام .

والخطوات التالية تبين التحول الذي يطرأ على المواد الخام عند درجات الحرارة المختلفة :

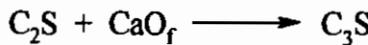
1- عند درجة حرارة ما بين 27 حتى 600 درجة حرارة مئوية تحدث عملية تبخر للمياه كذلك عملية التكسير لمجموعات الهيدروكسيل .

2- عند درجة حرارة 550 درجة مئوية تبدأ عملية تحول  $\text{CaCO}_3$  إلى  $\text{CO}_2 + \text{CaO}$  وهى ما تسمى بعملية Decarbonation وتنتهى هذه العملية عند 1000 درجة حرارة مئوية .

3- عند درجة حرارة 660 تبدأ الطفلة وهى المكون الرئيسي الثانى فى المواد الخام والتي تحتوى تركيبها فى الأساس على الكولينيت ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) فى التكسير وتتحول بدورها إلى  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$  بجانب وجود  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  الموجود فى الطفلة كشوائب عند درجة حرارة 950 .

4- فى نطاق درجة حرارة مئوية ما بين 550 وحتى 1280 تبدأ الأكاسيد المتحررة فى التفاعل مع بعضها البعض بما يعرف بتفاعلات الحالة الصلبة (Solid-State Reactions) والتي تبدأ عندها تكون الأطوار (Phases) المكونة للأسمنت الخام (Clinker) مثل  $\text{C}_2\text{S}$ ,  $\text{CA}$ , and Ferrite بجانب وجود نسبة كبيرة من أكسيد الكالسيوم الحر ( $\text{CaO}_f$ ) الذي لم يتفاعل بعد .

5- فى نطاق درجة حرارة مئوية ما بين 1250 وحتى 1450 تحدث عملية فيها يحدث انصهار جزئي لجزء من  $\text{C}_2\text{S}$  التى تكونت فى الخطوة السابقة ومن ثم يتحد هذا الجزء مع أكسيد الكالسيوم الحر ( $\text{CaO}_f$ ) المتبقى من الخطوات السابقة لتكوين  $\text{C}_3\text{S}$  وهو من أهم الأطوار الموجودة فى مكونات الأسمنت :



6- المرحلة الأخيرة من هذه العمليات وهى عملية من أهم العمليات فى صناعة الأسمنت ألا وهى عملية التبريد (Cooling) وتتم هذه العملية تبريد الكلنكر الناتج فجائياً حتى لا ينكسر الـ  $C_3S$  ويتحول إلى  $C_2S, CaO_f$ .

### ج- تبريد الكلنكر (الأسمنت الخام) : Clinker Cooling :

فى نهاية الفرن الدوار يوجد مبرد ، حيث تتم عملية تبريد الكلنكر الخارج من نهاية الفرن الدوار وذلك بمقابلة الهواء البارد له فى المبرد . أن عملية التبريد للكلنكر لها أهمية قصوى على خواص الأسمنت الخام (الكلنكر) ، فيجب أن تتم عملية التبريد بسرعة كبيرة لكي لا يحدث تفاعل عكسي للمركبات الناتجة والتي تكونت أثناء الحرق فى الأسمنت الخام.

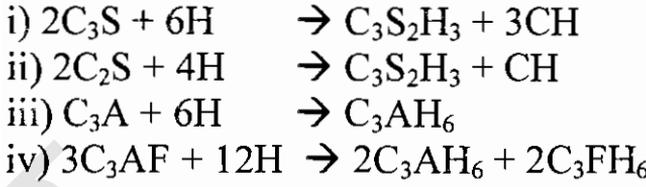
### 7- طحن الكلنكر (Grinding of Clinker) :

يطحن الكلنكر المبرد ويضاف إليه نسبة تصل إلى 5% من الجبس  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  أثناء الطحن ، أهمية إضافة الجبس هو لضبط زمن الشك للأسمنت (Regulation of Setting) ، ويتم طحن الكلنكر مع الجبس إلى درجة عالية من النعومة تبلغ حوالي  $(2800 \text{ cm}^2/\text{g})$  ثم يخزن ويعبأ لكي يكون جاهزاً لعملية الشحن والاستخدام .

### د- تفاعلات الأسمنت مع الماء (Hydration Reactions) :

إن عملية شك وتصلب الأسمنت البورتلاندي تحدث نتيجة للتفاعل بينه وبين الماء المضاف إليه عند درجات الحرارة العادية ( $5^\circ\text{م} - 40^\circ\text{م}$ ) وفيها يتم تفاعل كلاً من ثنائي وثلاثي الكالسيوم سليكات مع الماء وينتج من هذا التفاعل

هيدروكسيد الكالسيوم وسليكات الكالسيوم المائية وتسمى (Tobermorite) ، وكذلك تتفاعل باقي مكونات الأسمنت مع الماء ، طبقاً للتفاعلات التالية على النحو التالي :



العوامل التي تؤثر في معدلات التفاعلات السابقة :

- 1- درجة نعومة الأسمنت .
- 2- نسبة الماء المضافة إلى نسبة الأسمنت .
- 3- درجة حرارة التفاعل ، حيث يزيد معدل التفاعل بزيادة درجة حرارة الجو .

الأنواع المختلفة من الأسمنت البورتلاندي :

### Different Types of Portland Cement

يتضح من الحديث عن صناعة الأسمنت البورتلاندي العادي أن  $\text{C}_4\text{AF}$ ،  $\text{C}_3\text{A}$  ليس لهما دور مؤثر على اكتساب الصلابة والمتانة للأسمنت البورتلاندي العادي والتي تعتمد بشكل أساسي على وجود  $\text{C}_2\text{S}$ ،  $\text{C}_3\text{S}$  . وعلى الرغم من وجود  $\text{C}_2\text{AF}$ ،  $\text{C}_3\text{A}$  قد يسبب الكثير من المشاكل في الخواص الميكانيكية والفيزيائية للأسمنت بجانب ذلك فوجد  $\text{C}_3\text{A}$  يتسبب في سهولة مهاجمة أملاح الكبريتات للأسمنت ، أيضاً انطلاق كمية كبيرة من حرارة التفاعل مما يتسبب في التأثير على انخفاض قوة المتانة للأسمنت والخرسانة وخصوصاً في الكتل الخرسانية الكبيرة ، فبرغم من هذه السلبيات

لوجود  $C_4AF$ ,  $C_3A$  فإن وجود أكسيد الألومنيوم ( $Al_2O_3$ ) وأكسيد الحديدك ( $Fe_2O_3$ ) فى المواد الخام يساعد بصورة كبيرة فى عملية التصنيع ، حيث أن وجودهما يخفض درجة حرارة تكوين سليكات الكالسيوم ( $C_3S$ ,  $C_2S$ ) التى هى الأساس فى صناعة الأسمنت . لذلك فوجود  $Al_2O_3$  ،  $Fe_2O_3$  يعمل (Flux) أى مخفض لدرجة حرارة تكوين الكلنكر مما يتسبب فى خفض تكلفة إنتاج الأسمنت البورتلاندي . ولذلك فإن وجود  $C_4AF + C_3A$  يجب ألا تزيد نسبتها فى الكلنكر عن 15% .

### 1- الأسمنت سريع الشك Rapid-Hardening Cement :

فى هذا النوع من الأسمنت يجب أن تكون نسبة  $C_3S$  أكبر من نسبة وجوده فى الأسمنت البورتلاندي العادي وذلك على حساب وجود  $C_2S$  ، حيث أن سرعة الشك للمركب  $C_3S$  أكبر من سرعة الشك للمركب  $C_2S$  . لذلك يراعى فى تصنيع الأسمنت سريع الشك أن تكون نسبة الـ  $CaO$  فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع هذا النوع أكبر من نسبة وجوده فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع الأسمنت البورتلاندي العادي . علاوة على ذلك يجب أن تكون درجة نعومة الأسمنت سريع الشك أكبر بكثير من درجة نعومة الأسمنت البورتلاندي العادي مما قد يساعد فى عملية الهيدرة فى الأوقات المبكرة من إضافة الماء للأسمنت .

### 2- الأسمنت المقاوم للكبريتات Sulphate Resisting Cement :

هذا النوع من الأسمنت يطلق عليه أحياناً أسم (Set water cement) . وغالباً ما يستخدم هذا النوع فى الإنشاءات التى تتعرض لوجود أملاح فى

التربة أو أن تكون معرضة لمياه البحار التي تحتوى على نسبة عالية من أملاح الكبريتات والكلوريدات لذلك يجب أن يكون هذا النوع مقاوم لتفاعل الأملاح السابق ذكرها معه .

عند استخدام الأسمنت البورتلاندي العادي فى وسط يحتوى على أملاح الكبريتات كمياه البحار والمحيطات ، فإن أيونات الكبريتات  $SO_4^-$  يتفاعل مع المركب الثالث المكون للكلنكر  $C_3A$  ويكون مركب آخر يسمى  $(3Ca.Al_2O_3.31H_2O)$  كالسيوم سلفوألومينات وهذا المركب الجديد عند عملية الهيدرة يحدث له تمدد كبير فى الحكم مما يستتب فى إنهيار المتانة الميكانيكية للخرسانة .

لذلك فإنه عند تصنيع الأسمنت المقاوم للكبريتات يجب أن يحتوى على كمية قليلة جداً من  $C_3A$  وذلك عن طريق استخدام خامات تحتوى على نسبة قليلة من أكسيد الألومنيوم عن نسبة أكسيد الألومنيوم المستخدمة فى المواد الخام المستخدمة فى تصنيع الأسمنت البورتلاندي العادي .

### 3- الأسمنت الحديدي Portland Blast-Furnace Cement :

فى صناعة هذا النوع من الأسمنت يتم خلط 65% كلنكر الأسمنت البورتلاندي العادي مع 35% من خبث الحديد الناتج من الفرن العالي ويتم عملية طحن هذا المخلوط بعد إضافة نسبة 5% من الجبس . والغرض من تصنيع هذا النوع من الأسمنت هو الحصول على أسمنت بورتلاندي بتكلفة أقل حيث يعتبر خبث الأفران العالية من المخلفات الصناعية الغير مستغلة .

#### 4- الأسمنت البوزولاني (أسمنت الكرنك)

##### Portalnd-Pozzolana Cement

لإنتاج أسمنت الكرنك يتم خلط 60% من كلنكر الأسمنت البورتلاندي مع حوالي 35% إلى 40% من الرمل ويتم طحن هذا المخلوط بعد إضافة الجبس له . ويعتبر هذا النوع من الأسمنت ذات جودة أقل من الأنواع السابقة نظراً لاحتوائه على نسبة عالية من الرمال والتي ليس لها خواص أسمنتية .

#### 5- الأسمنت الأبيض White Cement

يصنع هذا الأسمنت بنفس طريقة الأسمنت البورتلاندي لعادي ولكن لا يجب أن تحتوي المواد الخام المستخدمة في تصنيع الأسمنت الأبيض على أي نسبة من الأكاسيد الملونة وخصوصاً أكاسيد الحديد .

#### 6- الأسمنت المنخفض الحرارة Low-Heat Cement

يستخدم هذا النوع من الأسمنت في إنشاء وبناء الكتل الخرسانية الضخمة والتي تتطلب عدم انطلاق حرارة تفاعل كبيرة أثناء إضافة الماء (الهيدرة) لذلك إذا نظرنا لمكونات كلنكر الأسمنت البورتلاندي العادي فنجد أن  $C_3A$  ينتج عند إنطلاق كمية حرارة تفاعل كبيرة جداً تبلغ حوالي 850 جول/جم . لذلك يجب عند تصنيع الأسمنت المنخفض الحرارة مراعاة أن تكون نسبة  $C_3A$  أقل ما يمكن ولا تزيد عن 4% ، وذلك باستخدام مواد خام تحتوي على نسبة قليلة من أكسيد الألومنيوم أقل من نسبة الألومنيوم الموجود في المواد الخام المستخدمة في صناعة الأسمنت البورتلاندي العادي .

## الأسئلة

- 1- أذكر أنواع الأسمنت ؟
- 2- أذكر مع الشرح المواد الرئيسية والمواد المصححة التي تستعمل فى صناعة الأسمنت البورتلاندي ؟
- 3- أشرح التركيب الكيميائي للأسمنت البورتلاندي ؟
- 4- أشرح التركيب المعدني للأسمنت الخام ؟
- 5- أذكر بالتفصيل خواص المكونات الأساسية للأسمنت الخام ؟
- 6- أشرح الخطوات الرئيسية لصناعة الأسمنت البورتلاندي ؟
- 7- وضح الخطوات التي تتم فى الفرن العالي ؟
- 8- أشرح الأنواع المختلفة من الأسمنت البورتلاندي ؟