



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة تكريت/كلية العلوم

قسم علوم الارض التطبيقية

المادة

مواد بناء/ متقدم

الموضوع

الأسمنت البورتلاندي

أعداد الطالبة : أسراء سعيد حسين

أشراف : أ.م.د. خالد أحمد عبدالله

2018 م

1440 هـ

## الأسمنت

### 1- المقدمة

الأسمنت هو مادة ناعمة إذا أضفنا لها الماء نحصل على مونة لزجة ، تتحول لصلدة بعد فترة من الزمن في الماء أو الهواء على السواء ، وبالتالي نقل ان للأسمنت خواص هيدروليكية أي أن للأسمنت الكفاءة على التجمد والوصول الى حالته الصلبة تحت الماء نتيجة للتفاعلات الكيميائية المختلفة وتكوين منتج مقاوم للتيارات الماء فإن للأسمنت دور هام كمادة لاحمة مسئولة عن التلاصق بين المواد والعناصر المختلفة وهذا الدور يظهر في استخدامات الأسمنت بكثرة في الأعمال الإنشائية والمعمارية .

الاسمنت المعروف والشائع الاستخدام في البناء هو الأسمنت البورتلاندي الذي اكتشفه جوزيف أسبيدين

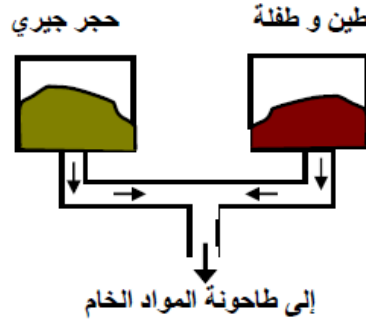
البناء الأنكليزي في أوائل القرن التاسع عشر . يرجع أسم بورتلاند الى تشابه صلادة صلادة الأسمنت البورتلاندي مع بعض أحجار البناء الموجودة في جزيرة بورتلاند بأنكلترا لذلك أطلق على هذا النوع من الأسمنت بالأسمنت البورتلاندي والذي ينتج من خليط من الطين الناعم جدا والحجر الجيري في فرن حتى يتطاير ثنائي أكسيد الكربون لنحصل على مادة أسمنتية لاحمة تحت الماء أو الهواء .

### 2- صناعة وأنتاج الأسمنت البورتلاندي

إن الاسمنت المستخدم حالياً هو الاسمنت البورتلاندي بصوره المتعددة، لذلك يجب معرفة طرق صناعته وإنتاجه والتعرف على المواد الخام المستخدمة في إنتاجه واختوية على الكالسيوم والسيليكا بنسب معينة. نظراً لأن سيليكات الكالسيوم هي المكون الأساسي للأسمنت البورتلاندي، لذلك فإن المواد الخام المستخدمة في إنتاج الأسمنت والغنية بالكالسيوم هي الحجر الجيري (Lime stone) والحجر الطباشيري (Chalk) والرخام والأصداف البحرية ونسبة قد تصل إلى ٧٥%، أما الطين (Clay) والطفل (Shale) ونسبته حوالي ٢٥% فهي المصادر الرئيسية للسيليكا المطلوبة في صناعة الأسمنت واللازمة لإنتاج سيليكات الكالسيوم. ويحتوي الطين على بعض من أكاسيد الحديد ( $Fe_2O_3$ ) وأكسيد الألومنيوم ( $Al_2O_3$ ) والقلويات والتي تساعد على تكون سيليكات الكالسيوم عند درجات حرارة منخفضة نسبياً ولذلك فإنه في أغلب الأحيان يضاف إلى المواد الخام السائلة الذكر أكسيد الحديد (مواد خام الحديد) أو أكسيد الألومنيوم (بوكسيت) أو أكسيد السليكون (الرمل)، إذا كان الطين المستعمل يحتوي على نسبة

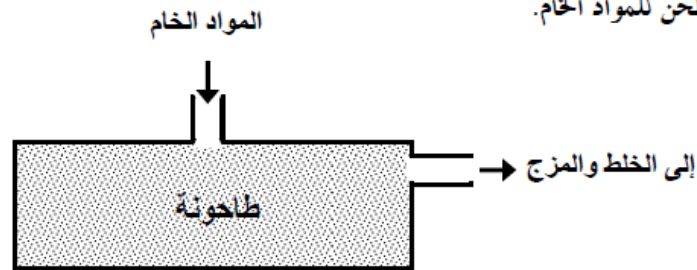
ضعيفة من أحد هذه المواد. ولأنه يلزم دقة تجانس المواد الخام في الخليط المطلوب لإنتاج الأسمنت قبل معالجتها الحرارية، لدقة تكوين المركبات المطلوبة في كلنكر الأسمنت لذلك يتم تحديد النسب المطلوبة عن طريق التحاليل الكيميائية للمواد لمعرفة عناصر تركيبها الكيميائي للوصول إلى المنتج المطلوب من الأسمنت. يتم ذلك في مرحلة الخلط والمزج للمواد والتي تلي مرحلة استخراج المواد الخام وطحنها حيث أن المواد الخام تستخرج من المقاطع والخاجر 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 (١-٢) وتسمى مرحلة الخلط.



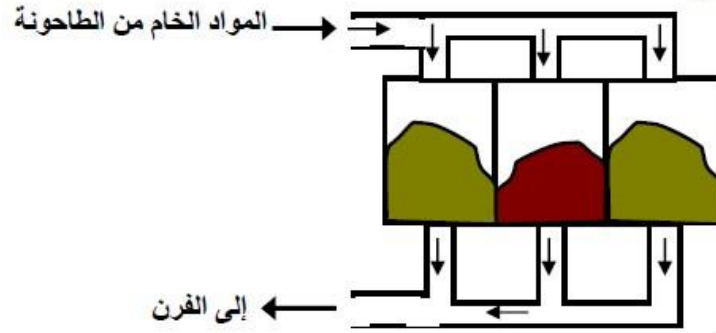
شكل (١-٢) تجميع المواد الخام الأساسية

٢- يتم إعادة طحن المواد الخام (Crushing & Milling) بعد خلطها في طواحين خاصة إلى جزيئات لا يزيد مقاسها عن ٧٥ ميكرون (٠,٠٧٥ مم) 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 في الخليط كما هو مبين بالشكل (٣-٢) وتدعى مرحلة المزج والتجانس. وهذه المرحلة هي التي يتم فيها إجراء التحاليل الكيميائية لضبط المكونات.



شكل (٣-٢) مزج وتجانس المواد الخام ببعضها

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

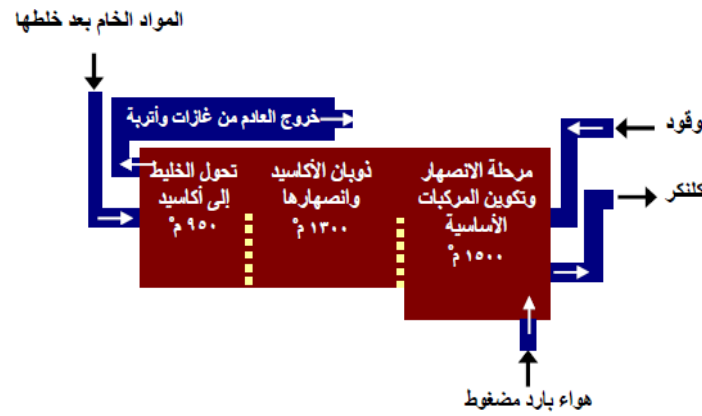
- الطريقة الرطبة وهي أقدم طريقة استعملت في صناعة الأسمنت مع نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين. هذه الطريقة تستهلك كثيراً من الطاقة، ولكنها تمكننا من الحصول على مواد ذات جودة عالية. تستعمل هذه الطريقة إذا كانت المواد الخام تحتوي على نسبة رطوبة عالية تتراوح ما بين ٣٠ إلى ٤٠% وقد يصل طول الفرن في هذه الطريقة إلى ٢٣٠ متر وقطره من ٥ إلى ٧ متر ، وبانحدار ٣% للمساعدة على تدحرج المادة.

- الطريقة الجافة: وهي نتاج للتطور الهائل في التكنولوجيا الحديثة حيث تستهلك حوالي ٦٠% من الطاقة المستهلكة في الطريقة الرطبة وتتم المواد الخام الأولية على مستويات مختلفة في درجة حرارتها والتي تبدأ من ٩٥٠ درجة مئوية في بداية الفرن حتى تصل إلى ١٥٠٠ درجة مئوية في نهاية الفرن ، ويصل طول الفرن إلى ٧٠ متر. وقد تصل الطاقة الإنتاجية في هذه الطريقة إلى ٣٥٠٠ طن/يوم. وهناك بعض الحالات التي تضطر القائمين على صناعة الأسمنت إلى استخدام تلك الطريقة، وذلك عندما تكون المواد الخام صلبة لدرجة أنها لا تنفت بالماء كما أنها أيضاً تستعمل في البلاد الباردة جداً حيث أنه يخشى على الماء من التجمد في الخليط. كذلك تستخدم أيضاً في حالة قلة الماء اللازم لعملية الخلط كما هو الحال في بلاد الجزيرة العربية.

- في جميع طرق التصنيع يمر المواد الخام بثلاث مراحل مختلفة في درجات الحرارة:
- أ- مرحلة تحول المادة والتي أصلها كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) إلى أكسيد الكالسيوم ( $\text{CaO}$ ) عند درجة حرارة ٩٥٠ درجة مئوية.
- ب- مرحلة ذوبان المواد الرئيسية مثل أكاسيد الكالسيوم والألمونيوم والحديد في حرارة من ١٢٥٠ إلى ١٣٥٠ درجة مئوية والتي عندها بداية الانصهار.
- ج- مرحلة الانصهار والتي تحدث بين المواد المختلفة والحصول على مواد جديدة ، وهي عبارة عن :

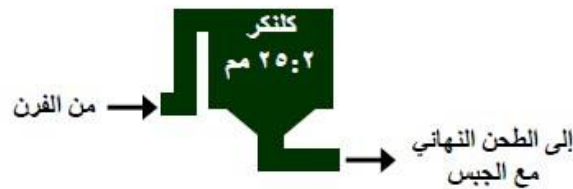
C3S	ثالث سيليكات الكالسيوم
C2 S	ثاني سيليكات الكالسيوم
C3A	ثالث ألومينات الكالسيوم
C4AF	رابع ألومينات حديد الكالسيوم

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



شكل (٢-٤) عملية حرق المواد الخام

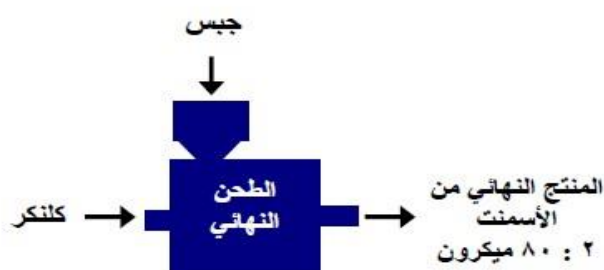
- ٥- بعد الانصهار تتكون المواد الجديدة وتسمى الكلنكر (Clinker) وهي عبارة عن كرات صغيرة يتراوح قطرها ما بين ٢-٢٥ مم والتي يتم تبريدها بسرعة فجائيا وذلك بضخ هواء بارد لمنع تبلور المواد والذي يحسن من خواص الأسمنت كما هو موضح بالشكل.



شكل (٢-٥) مرحلة تكوين الكلنكر

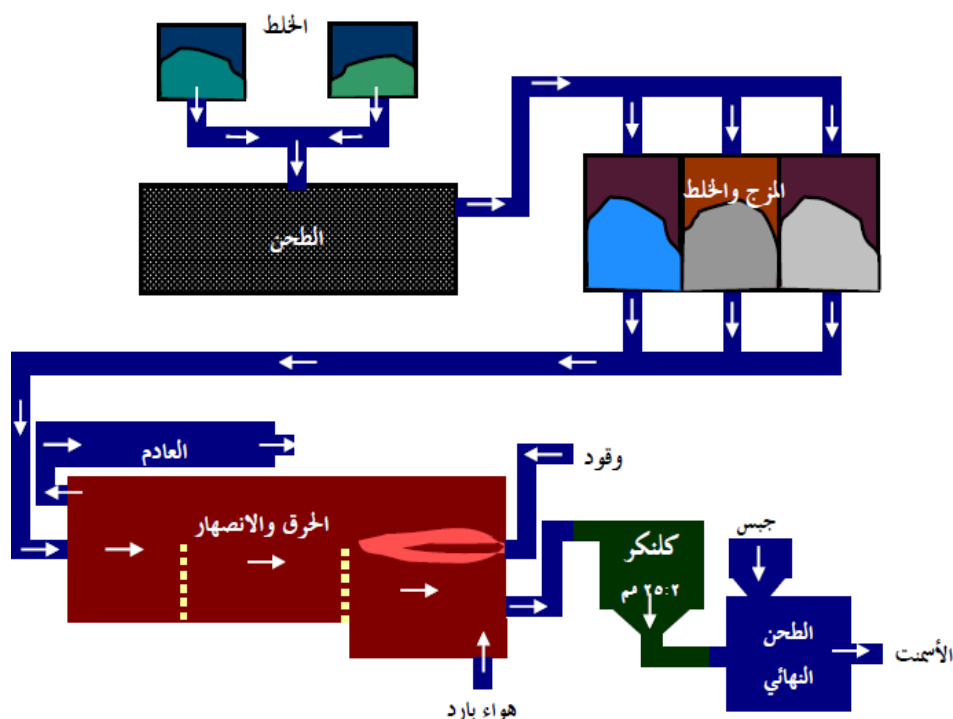


٦- يتم إضافة جبس (كبريتات الكالسيوم) إلى حبيبات الكلنكر بنسبة لا تزيد عن ٥% بغرض التحكم  
 نأ زمن النجود الابتدائي وتفاعلات التصلد للأسمنت كما هو مبين بالشكل (٦-٢)



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

٧- العملية النهائية في 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 السابق.  
 والشكل (٧-٢) يوضح تخطيط لجميع مراحل صناعة الأسمنت.



شكل (٧-٢) مراحل صناعة الأسمنت.

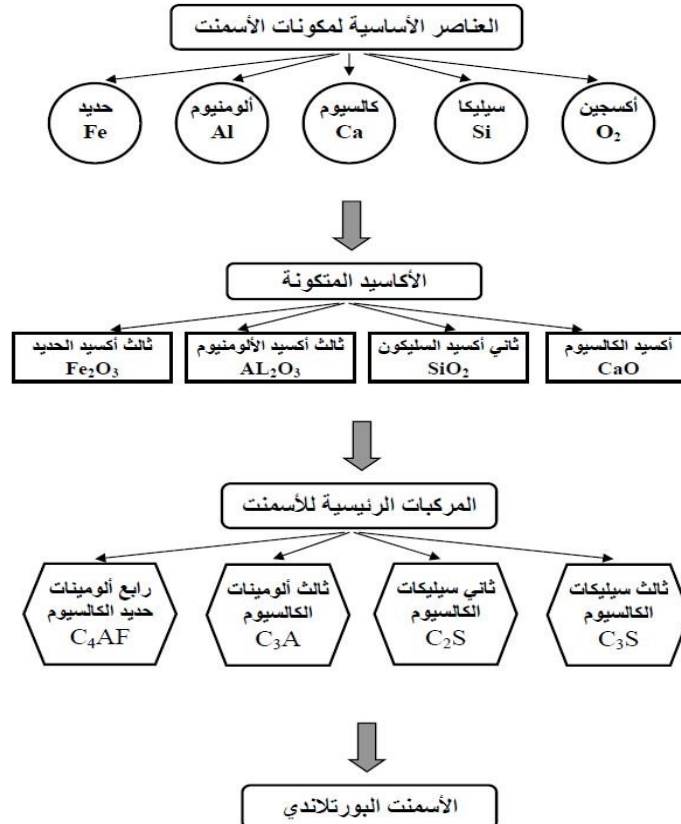
### 3- المكونات الأساسية وتركيبه الكيميائي

المكونات الأساسية للأسمنت البورتلاندي تنحصر في الجير والسيليكات والألومينات وأكاسيد الحديد وعندما تخلط هذه المكونات ويتم عليها عملية الحرق بالأفران ويتكون الكلنكر والذي يحتوي على أربعة مركبات رئيسية هي :-

المركب	الاصطلاح	النسبة في 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 البورتلاندي 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.



جدول يوضح الحدود التقريبية للأكاسيد المكونة للأسمنت البور التلندي

الأكسيد	الرمز	المحتوى %
أكسيد الكالسيوم	CaO	٦٧ - ٦٠
ثاني أكسيد السليكون	SiO <sub>2</sub>	٢٥ - ١٧
ثالث أكسيد الألومنيوم	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	٨ - ٣
ثالث أكسيد الحديد	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	٦ - ٠,٥
أكسيد الماغنسيوم	MgO	٤ - ٠,١
القلويات (أكسيد الصوديوم - أكسيد البوتاسيوم)	Na <sub>2</sub> O K <sub>2</sub> O	١,٣ - ٠,٢
ثالث أكسيد الكبريت	SO <sub>3</sub>	٣ - ١

#### 4- إماهة الاسمنت

هي عملية تفاعل مركبات الأسمنت مع الماء لتكوين مركبات جديدة لتجعل من الأسمنت مادة ذات خواص تماسكية (cohesive) وبتلاسية (adhesive) وله خاصية التجمد (setting) والتصلب (hardening) بفعل هذه التفاعلات الكيميائية مع الماء لتجعله قادرا على ربط المواد الأخرى (ركام ناعم وخشن ، حديد) مع بعضها البعض وتحولها الى وحدة متكاملة ومتراصة .

ان عملية تفاعل مركبات الأسمنت مع الماء من ناحية السرعة والحرارة المنبعثة من هذا التفاعل تختلف من مركب لآخر وكما يلي :-

#### مركبات الألومينات

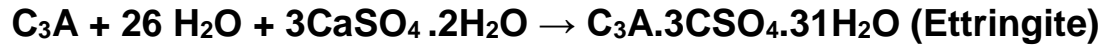
أن مشاركة المركب C<sub>3</sub>A في إعطاء المقاومة لعجينة الأسمنت قليلة جدا وتحدد في الأيام الاولى فقط بين 1-3 يوم . أن المركب C<sub>3</sub>A يكون أسرع المركبات تفاعلا مع الماء وهذا التفاعل يكون مصحوبا بحرارة عالية مما يؤدي الى نوع من التماسك بعدة دقائق من مزج السمّنت مع الماء ، يطلق على التماسك السريع والفجائي (flash setting)



ان المركب يكون غير مستقر حيث أن قيمة n تقل بالتدريج الى أن تستقر الى بلوات صفائحية سداسية من المومينات الكالسيوم المائية وتترك فجوات تؤدي الى ضعف مقاومة العجينة الأسمنتية في النهائية وإذا تركت هذه المشكلة بدون معالجة فإن التفاعل السريع الشديد يؤدي الى ان يشكل هذا المركب هيكل



عجينة الأسمنت ولايسمح للمركبات الأخرى (السيليكات) بالتفاعل . ان علاج هذه المشكلة يكون بأضافة الجبس الى الكلنكر قبل عملية طحن الاسمنت لانه يعمل كمؤخر لتفاعل  $C_3A$  مع الماء أذ يتفاعل الجبس معه مكونا سلفو الومينات الكالسيوم الغير ذائبة حول حبيبات ال  $C_3A$  وبذلك يؤخر تفاعلها مع الماء متيحاً وقتاً كافياً لاماهاة  $C_3A$  والذي يكون تفاعلها أبطأ من  $C_3A$



ثالث الومينات الكالسيوم + ماء + جبس ← اترنجيت

تترسب اترنجيت ويكون مركب غير مستقر ويتحول الكبريتات احادية بالتدريج وهي المنتج النهائي لاماهاة السمنت البورتلاندي



ثالثا الومينات الكالسيوم المتبقية + ماء + جبس ← احادي الكبريتات

تكون فائدة  $C_3A$  اذا توفر في الاسمنت بنسب مقبولة هو ان حرارة الاماهة العالية المنبعثة عند تفاعله مع الماء تشجع باقي المركبات على التفاعل بسرعة مقبولة ( تزيد من سرعة التفاعل لباقي المركبات ).

اما المركب  $C_4AF$  او الفريت فهو مركب خامل نوعاً ما واكثر استقراراً من  $C_3A$  لكن اقل من  $C_3S$  و  $C_2A$  والحرارة المنبعثة اقل . كلما تزيد نسبة هذا المركب تقل نسبة  $C_3A$  في الاسمنت حيث في الاسمنت المقاوم للكبريتات تتم اضافة حديد لتزيد نسبة الفريت وتقل نسبة  $C_3A$  .

## أماهة السيليكات :

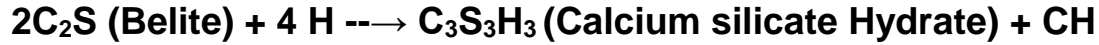
يعتبر المركبين  $C_2A$  و  $C_3A$  من المركبات الأسمنتية المسنولة عن أعطاء المقاومة النهائية لهيكل عجيبة

الاسمنت . أن إماهة السيليكات تنحصر في تفاعل ثالث سيليكات الكالسيوم  $C_2S$  وثاني سيليكات الكالسيوم  $C_2S$  والتي تنتج من هيدرات سيليكات الكالسيوم متشابهة التكوين ، ولكنها تتفاوت في نسبة الكالسيوم/السليكا ومحتوى الماء متحد كيميائيا. كذلك فأن تفاعل  $C_3S$  مسنول عن المقاومة المبكرة .

كما يتضح في المعادلات التالية:



ثالث سيليكات الكالسيوم (الآليت ) + ماء ← سيليكات الكالسيوم المماهة + هيدروكسيد الكالسيوم



وفي هذا التفاعل نلاحظ ان اماهة  $C_3S$  ينتج عنها

• 61% سيليكات الكالسيوم المماهة.

• 39% هيدروكسيد الكالسيوم.

اما بالنسبة ل  $C_2S$  فنلاحظ

• 82% سيليكات الكالسيوم المماهة .

• 18% هيدروكسيد الكالسيوم .

ومن هنا يتضح ان :

• المقاومة القصوى للاسمنت البورتلاندي المحتوي على نسبة اعلى من ثالث سيليكات الكالسيوم

يكون اقل مقاومة من مقاومة الاسمنت المحتوي على نسبة اعلى من ثنائي سيليكات الكالسيوم ( لان الناتج من سيليكات الكالسيوم المماهة لتفاعل ثنائي سيليكات الكالسيوم اكبر من تفاعل ثالث سيليكات الكالسيوم)

• ان الاسمنت المحتوي على نسبة عالية من ثنائي سيليكات الكالسيوم اكثر تحملا في البيئات الحامضية والكبريتية عن الامنت المحتوي على نسبة عالية من ثالث سيليكات الكالسيوم بالمقارنة مع ثنائي سيليكات الكالسيوم ، وزيادة هيدروكسيد الكالسيوم تؤثر بشكل فعال على قوة تحمل عجائن الأسمنت المتصلب في البيئة الحامضية او الكبريتية .

- ان ثالث سيليكات الكالسيوم يماه بمعدلات اسرع من اماهة ثنائي سيليكات الكالسيوم حيث ان ثالث سيليكات الكالسيوم يبدأ في التفاعل في حدود الساعة من لحظة اضافة الماء الى الاسمنت ، ولذلك فانه يتحمل ان يساعد في زمن التجمد النهائي للاسمنت وبالاخص مع وجود الجبس .
- يعتبر الاسمنت المحتوي على نسبة عالية من ثالث سيليكات الكالسيوم اكثر استخداما في العناصر المطلوب لها مقاومة مبكرة عالية بالمقارنة بالاسمنتات المحتوية على نسب عالية من ثنائي سيليكات الكالسيوم.

اماهة المركبات الثانوية للاسمنت

### ❖ Free Cao و MgO

يتواجد مركب  $\text{CaO}$  الحر في الاسمنت بسبب استخدام نسبة عالية من حجر الكلس في صناعة الاسمنت او بسبب عدم وصول درجة حرارة الفرن بالشكل الذي يضمن تفاعل  $\text{C}_2\text{S}$  مع هذا المركب لينتج  $\text{C}_3\text{S}$  بحيث يكون الناتج كمية عالية نسبيا من  $\text{C}_2\text{S}$  وقليلة من  $\text{C}_3\text{S}$  وتواجد  $\text{CaO}$  بشكل حر . اما  $\text{MgO}$  فيتواجد في المواد الخام الداخلة في صناعة الاسمنت . ان تاثير هذان المركبان هو ان المركبات الناتجة من تفاعلها مع الماء  $(\text{MgO}(\text{OH})_2 \& \text{Ca}(\text{OH})_2)$  تكون اكبر حجما من المتفاعلات فتسبب تمدد يؤدي الى أجهادات تؤدي الى أضعاف مقاومة العجينة الاسمنتية وخاصة ان هذه المركبات تتفاعل بشكل بطيء مع الماء فيظهر تاثيرها بالاعمار المتأخرة بعد تصلب العجينة . لذلك من الضروري تحديد نسبتهما في الاسمنت بشكل لا يؤثر في النهاية على المقاومة . وهناك فحص يسمى الفحص الثبات **Soundness** لعجينة الاسمنت يتضمن تعريض العجينة لظروف معجلة للتفاعل (ضغط وحرارة) للتحقق بنسبة التمدد التي يسببها هذان المركبان وحددت المواصفة هذه النسبة بان لا تتجاوز 0.8%

### ❖ $\text{Na}_2\text{O}$ و $\text{K}_2\text{O}$

وتسمى ايضا القلويات **Alkalies** وهي موجودة في المواد الأولية الداخلة في صناعة الاسمنت . هذه المركبات قد تتفاعل مع بعض انواع الركام ويكون الناتج مركبات تسبب انتفاخ على سطح الركام وبالتالي ضعف مقاومة المونة او الخرسانة . لذلك يجب تحديد نسبتهما بان لا تتجاوز مجموعهما 0.6% ولذلك عن طريق فحص خاص معجل للتفاعل . يكون تاثيرها على المنشآت الهيدروليكية اكثر من غيرها حيث ان تاثيرها يحتاج الى الماء لكي يتم التفاعل . يكون تاثيره في الاجواء الجافة يقل هذا التأثير.

## ❖ H<sub>2</sub>O

في التحليل الكيميائي هو L.O.I أو Lose of ignition . يكون مصدره من الجبس المستخدم او من الخزن الغير جيد ويعبر عن مدى تلف الأسمنت

## ❖ SO<sub>3</sub>

يوجد في المواد الأولية او من الجبس المضاف قبل الطحن الكلنكر لتأخير تفاعل الألومينات غير ان وجوده بكثرة يسبب تكون الترنجايث في اعمار متأخرة تسبب اجهادات بسبب التمدد وتضعف المقاومة

## 5-انواع الاسمنت البورتلاندي

### ❖ الاسمنت البورتلاندي العادي (Type 1) Ordinary Portland Cement :-

هو اكثر انواع الاسمنت استعمالا حيث يمثل 95% من مجموع انواع الاسمنت العادي اذا انه ملائم جدا للانشاءات الخرسانية العامة عند عدم تعرض الانشاءات للكبريتات في التربة وفي المياه الجوفية.

### ❖ الاسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات Sulfate Resistance Portland Cement :-

وهو اسمنت ذو محتوى منخفض من الومينات الكالسيوم الثلاثية (زيادة نسبة الحديد في المواد الأولية ليتكون C<sub>4</sub>AF وتقل نسبة C<sub>3</sub>A لتفادي مشكلة تفاعل هذا المركب مع املاح الكبريتات القادمة من خارج الخرسانة او من الركام المستخدم في صنعها وخاصة الاملاح ذات الفعالية الشديدة مثل املاح المغنسيوم وكب يتات الصوديوم التي تؤدي الى تفتيت الخرسانة تدريجيا . يستخدم في المنشآت المعرضة للتربة مثل الاسس وجدران والسراريب والاعمدة تحت مستوى مانع الرطوبة .

### ❖ الاسمنت البورتلاندي سريع التصلب High early strength :

تشابه الاسمنت البورتلاندي العادي كثيرا الا انه يطور المقاومة بصورة اسرع من الاسمنت العادي ولذلك يطلق عليه الاسمنت ذو المقاومة البكرة العالية يمكن الحصول على هذا النوع من الاسمنت بزيادة مركب C<sub>3</sub>S وتقليل مركب C<sub>2</sub>S وبزيادة النعومة وبالتالي زيادة المساحة السطحية للاماهة وتكوين مركبات CSH اكثر بزمان اقل من الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي لكن الفرق في المقاومة في الاعمار المتأخرة يكون قليل بين هذا النوع والاسمنت الاعتيادي

يستخدم هذا النوع من الاسمنت في المحلات التي يفضل الاكتساب السريع للمقاومة ويتطلب رفع القوالب باسرع وقت ، ويستعمل ايضا عندما يتطلب الحاجة لخرسانة ذات مقاومة انضغاط عالية

دون اللجوء الى استعمال كمية اكبر من الاسمنت ويفضل استعماله ايضا في الاجواء الباردة لحماية المنشأ من اضرار الانجماد المبكر الا انه غير مفضل في الكتل الخرسانية الكبيرة بسبب حرارة الاماهة العالية.

#### ❖ الاسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة Low Heat Cement :-

يستعمل هذا النوع في الخرسانة الكتلية مثل السدود والغرض من الاستخدام هو تقليل كمية حرارة الاماهة الناتجة من التفاعل اثناء التصلب ، إذ بذلك نتفادي التشققات ، ويتصف هذا الاسمنت ببطء التصلب اي تكون مقاومته المبكرة منخفضة لكن المقاومة في الاعمار المتاخرة مساوية تقريبا للاسمنت العادي ز ويفضل استخدام هذا النوع من الاسمنت في الاجواء الحارة يمكن الحصول على هذا النوع من الاسمنت بتحديد كمية  $C_3A$  او  $C_3S + C_3A$

#### ❖ الاسمنت المعدل Modified cement :-

وهو يجمع بين خواص الاسمنت البورتلاندي منخفض الحرارة والاسمنت البورتلاندي العادي حيث يكون معدل سرعة انبعاث الحرارة لهذا النوع اعلى بقليل من الاسمنت منخفض الحرارة واقل بقليل من الاسمنت العادي ، بينما يكون معدل سرعة اكتساب المقاومة مماثل للاسمنت العادي ، ويستعمل في المنشآت التي يتطلب ان يكون حرارة الاماهة اقل من تلك المنبعثة من الاسمنت العادي مثل الاسمنت المستخدم في صب الكتل الضخمة او الصب في الجو الحار مع الحفاظ على مقاومة مبكرة مناسبة نوعا ، ما اويستخدم في المحلات التي تتاثر بالكبريتات بدرجة متوسطة .

#### ❖ الاسمنت البورتلاندي خبث الافران العالمية Portland blastfurnace slag cement :-

ان الخبث هو فضلات صناعية تأتي من تصنيع الحديد الخام حيث نحصل على كمية متساوية من الحديد والخبث كما انه يحتوي على خليط من الجير والسيلكا والالومينات وهي نفس الاكاسيد التي يصنع منها الاسمنت البورتلاندي ولكن بنسب مختلفة .

يصنع هذا الاسمنت وذلك بطن خبث الافران العالية ( بعد تبريد وطحنه الى حبيبات متشابهة بالحجم حبيبات الاسمنت ) مع كلنكر البورتلاندي بحيث لايتجاوز نسبة الخبث 65% من وزن الخليط اوباضافته الى المواد الاولية في صناعة الاسمنت . يمتاز هذا النوع من الاسمنت البورتلاندي ب:-

- تفاعله ببطئ مع الماء لذلك تطور المقاومة ببطئ وانطلاق الحرارة ببطئ لذلك يمكن استخدامه في الخرسانة الكتلية ولايمكن استخدامه في الاجواء الباردة .
- مقاومته للكبريتات افضل من الاسمنت البورتلاندي ( وجود الحديد يزيد من  $C_4AF$  ويقلل من  $C_3A$  )



#### ❖ الاسمنت البورتلاندي الابيض White Cement :-

يرجع تميزه باللون الابيض لان نسبة اكاسيد الحديد لاتزيد عن 1% وتتلخص استعملاته للاغراض المعمارية فقط ويمكن اضافة الوان له ولايمكن استخدامه في المحلات الاخرى بسبب ضعف المقاومة والانكماش العالي.

#### ❖ الاسمنت المقاوم للبكتريا:-

ينتج باضافة مادة مقاومة للبكتريا الى الكلنكر عند الطحن مما يكسبه هذه الخاصية للقضاء على مشكلة تأكل ارضيات مصانع الاغذية وحماية الحوائط من الاحماض العضوية التي تتفاعل مع مكونات الاسمنت

#### ❖ الاسمنت البوزولاني Pozolanic :-

المواد البوزولانية هي مواد طبيعية او صناعية حاوية على السيليكا او سليكا والالومينات اذا تم حرقها بدرجات حرارة العالية وطحنها الى مواد ناعمة تتحول الى صورتها القابلة للتفاعل (reactive) بوجود الماء تتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم الناتج من امهة السيليكات لتكوين مركبات ذات الخواص اسمنتية (CSH). هذا لتفاعل يكون بطئ فيكون تطور المقاومة لهذا النوع من الاسمنت بطئ لكن المقاومة النهائية تكون اعلى من الاسمنت البورتلاندي العادي . تكون حرارة الامهة منخفضة لذلك يمكن استخدامه في الصبات الضخمة و السدود . ومن مساوئه انه كلما تزيد كمية المواد المتفاعلة مع هيدروكسيد الكالسيوم تقل القاعدية فيكون الاسمنت حامضي يشجع على تفاعل الكلوريدات مع حديد التسليح فيحدث التاكل

#### 6- انواع اخرى من الاسمنت الغير بورتلاندي

#### ❖ سممت التمدد Expansive Cement :

في صناعة هذا الاسمنت تستخدم مواد تساعد على التمدد وتضاف الى الاسمنت الاعتيادي ( مثل الاترنجيت ) وتعمل ايضا مادة مثبتة (Stabilizer) وهي عادة خبث الافران العالية لتستقبل وببطئ الفائض من كبريتات الكالسيوم . ان تكوين الاترنجيت يكون في حالة الخرسانة وهي طريقة اي ليس هناك مجال لتوليد اجهادات بسبب الزيادة الحجمية . يستخدم هذا النوع من الاسمنت لتجاوز حالة الانكماش في الاسمنت الاعتيادي وخاصة في المناطق ذات الاجواء الحارة . ويستخدم ايضا عندما نريد ان نبذل خرسانة مصبوبة باخرى صالحة في منشأ ما كي لا تبقى بين الصبة القديمة والجديدة ، هذه الخاصية تمكننا من ملئ الشغرات في الانفاق والسراريب بحقن مونة هذا الاسمنت

## ❖ الاسمنت عالي الومينا High Alumina Cement

او ما يسمى ايضا الاسمنت الحراري حيث انه يقاوم الحرارة العالية ويستخدم في الافران التي تتطلب حرارة عالية ويصنع هذا النوع من الاسمنت من صخور البوكسايت التي تمتاز بان فيها نسبة الومينا عالية ومن الحجر الجيري والمركب الرئيسي في هذا الاسمنت هو  $C_3A$  منخفضة القاعدية . ان انخفاض القاعدية يقلل من خطر تكوين الاترنجيت وكذلك يقلل من انخفاض المقاومة في درجات الحرارة العالية بسبب تحلل هيدروكسيد الكالسيوم في درجة حرارة  $400^{\circ}C$  فوق الى  $CaO$  و يتبخر الماء وهذا المركب اذا تعرض للماء يحصل تفاعل عكسي يؤدي الى زيادة في الحجم .

في درجات الحرارة الاعتيادية يفضل استخدام الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي بدلا من الالوميني وذلك لضعف مقاومة الاخير لكن في درجات الحرارة العالية ( اعلى من  $800^{\circ}C$  ) يفضل استخدام الاسمنت الالوميني .