وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة القادسية

كلية العلوم / قسم الكيمياء

# صناعة الإسمنت

بحث تقدم به الطالب :

**هاني عقيل هادي**

**الى مجلس قسم الكيمياء-كلية العلوم في جامعة القادسية**

**وهي من متطلبات نيل شهادة بكالوريوس في الكيمياء**

**باشراف**

**أ.م.د.اوراس عدنان**

2019 م

1440 هـ

(بسم الله الرحمن الرحيم)

( لله نُورُ السَّمَوَاتِ وَالأَرْضِ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونِةٍ لا شَرْقِيَّةٍ وَلا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ نُورٌ عَلَى نُورٍ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الأَمْثَالَ لِلنَّاسِ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ)

((صدق الله العلي العظيم)
سورة النــور الاية 35

# الإهداء

الى من علمني معنى الحياه وامسك بيدي

على دروبها أبي

الى من كان رضاها غايتي وطموحي

فأعطتني الكثير ولم تنتظر الشكر (والدتي الحبيبة)

الى الذين كبرت بينهم واسير على الدرب معهم

(أشقائي وشقيقاتي)

# شكر وتقدير

أحمدُ الله واشكره تعالى على ما أنعم به علي من فضل وتوفيق فمنحني العلم والمعرفة والقدرة على اتمام الجهد المتواضع

وسرني أن أتقرم بجزيل الشكر والتقدير لأستاذي الجليل

(أ.م.د. أوراس عدنان)

الذي تكرم مشكوراً بقبول الإشراف على هذا البحث حيث قدم لنا النصح والإرشاد طيلة فتره أعداده

ويسرني ان اتقدم لكافه الاساتذة الكرام اعضاء الهيئة التدريسية والإدارية في كلية العلوم

# الفهرست


| الموضوع | رقم الصفحة |
| --- | --- |
| المقدمة | 1 |
| الإسمنت وأنواعه | 6–2 |
| المواد الاولية لصناعة الاسمنت | 6–4 |
| طرق صناعة الاسمنت | 12–7 |
| تفاعلات مكونات الاسمنت مع الماء اثناء عملية التصلب | 13–12 |
| الاختبارات لمعرفة الشوائب الداخلة في الاسمنت | 18–14 |
| المصادر | 19 |

## المقدمة

تعتبر صناعة الأسمنت من الصناعات الإستراتيجية، لأنها ترتبط مباشرة بأعمال الإنشاء والتعمير. ويستخدم الأسمنت كمادة رابطة هيدروليكية من مكونات المونة أو الخرسانة.وهي مع ذلك صناعة بسيطة مقارنة بالصناعات الكبرى،وتعتمد على توفر المواد الخام اللازمة لذلك .

لقد اكتشف الرومـان الإسمنت حوالي سنة 250 قبل الميلاد ، وقد صنع من خلط الجير المطفأ مع الرمل والرماد البركاني وأطلقوا عليه اسم " بوزولانا " نسبة إلى بوزولي وهو المكان الذي يحصلون منه عليه وظل استعماله حتى منتصف القرن الثامن عشـر.
وفي عام 1757 م قام المهندس البريطاني جون سميتون بصنع نوعية جيدة وذلك بتسخين خليط من الجير المطفأ والصلصال.
في عام 1824م حصل البريطاني جوزيف اسبدين عامل البناء البسيط على براءة اختراع الاسمنت الذي اكتشف طريقه صنعه بمطبخ منزله. قام المخترع المذكور بتسخين خليط من الحجارة الجيرية والطين (Clay) بفرن منزله قبل أن يقوم بطحن ذلك الخليط وتحويله إلى بودرة خالقا اسمنت هيدروليكي يتصلد فور إضافة الماء إليه. قام المخترع البريطاني بتسمية اختراعه بالاسمنت البورتلاندي تيمنا باسم المنطقة التي جلب منها الأحجار التي قام بطحنها وصنع الاسمنت منها وهى جزيرة بورتلاند على السواحل البريطانية. بهذا الاختراع قاد اسبدين قاعدة ما يمكن أن يسمى اليوم بصناعة الاسمنت البورتلاندي .

**الإسمنت**: هو مسحوق ناعم رمادي أو ابيض اللون وعند خلطه بالماء لبعض الوقت يصبح كالحجر يستخدم في أعمال البناء والإنشاءوأعمال الديكور . وهناك عدة أنواع من الأسمنت منها:-

## أ- الاسمنت البورتلاندي

وهو المادة المكونة من سحق الكلنكر المتكون من سيليكات الكالسيوم والومينات الكالسيوم مع المضافات الأخرى ( لا تتعدى عن 10 % )

***هنالك عدة أنواع من الاسمنت البورتلاندي**

## (1) الاسمنت البورتلاندي الاعتيادي .

ينتج هذا النوع من الاسمنت من خلط المواد الطينية مع حجر الكلس وطحنها وحرقها وطحن الكلنكر المنتج مع قليل من حجر الجبس . يعد هذا النوع من الاسمنت البورتلاندي من أوسعالأنواعإنتاجاوأكثرها انتشارا وذلك لاستعمالاته الكثيرة . أماالتحليل الكيميائي التقريبي لهذا النوع من الاسمنت فهو كما يلي :

1- ثنائي أوكسيد السليكون 22%

2-أوكسيد الألمنيوم 5%

3- أوكسيد الحديد 3.5%

4- أوكسيد الكالسيوم 63 %

5-أوكسيد المغنيسيوم 2%

6-أوكسيد الكبريت 2.5 %

## (2) الاسمنت سريع التصلب

إن الاسمنت السريع التصلب ينتج بطريقة إنتاج الاسمنت الاعتيادي عير انه يتصلب بفترة اقل بكثير من الفترة اللازمة لتصلب الاسمنت الاعتيادي .

في هذا النوع من الاسمنت تكون نسبة الكربوناتإلى السليكا أكثر من النسبة الموجودة في النوع الأول من الاسمنت وكذلك يطحن إلى حجم اقل مما هو موجود في النوع الأول . لهذا يبدأ بالتصلب السريع وان الحرارة المتكونة منه تتسرب بسرعة أسرع قياسا بسرعة تصلبها من النوع الأول . ويستعمل هذا النوع من الاسمنت في صب الكونكريت في المواقع التي تستعمل فيها قوالب متحركة أو تحت الماء .

## (3)الاسمنت البورتلاندي المعتدل الحرارة والمقاوم للأملاح.

إن هذا النوع من الاسمنت يختلف تركيبه الكيمياوي قليلا عن الاسمنت الاعتيادي .

يستعمل هذا النوع من الاسمنت عندما تكون هنالك حاجة إلى كمية معتدلة من حرارة التميؤ عند استعمال الاسمنت في المشاريع المعرضة إلى كمية معتدلة من الأملاح وخصوصا السلفات . إن الحرارة المنبعثة من الاسمنت يجب أن لا تزيد عن 70-80 سعره/غم بعد مضي 7-28 يوم على التوالي

## (4) الاسمنت البورتلاندي قليل الحرارة

هذا النوع من الاسمنت يحتوي على نسبة اقل من ثلاثي الكالسيوم السليكا $3CaO.SiO_2$ [$(C_3S)$]، وكذلك ثلاثي الكالسيوم الالومينيي[$(C_3A)$] $3CaO.Al_2O_3$, مما يحفظ كمية الحرارة المنبعثة ، ونتيجة لذلك تزداد نسبة رباعي الكالسيوم الألمنيوم

الحديدي $(C_4AF)$او$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ وذلك نتيجة للزيادة في $Fe_2O_3$لتقليل كمية $C_3A$ .

ويستعمل هذا النوع من الاسمنت في السدود الضخمة كما يستعمل في المواقع التي تحتاج إلى صب كتل ضخمة من الكونكريت حيث إن الحرارة المتولدة من تفاعل الاسمنت والماء تكون قليلة ولا تؤثر في تمدد الكتلة الكونكريتية التي قد تؤثر في شكلها .

## (5)الاسمنت البورتلاندي المقاوم للأملاح

إن هذا النوع من الاسمنت يشبه الاسمنت الاعتيادي إلا في بعض التغيرات في نسبة التركيب الكيمياوي ففي هذا النوع من الاسمنت تقل نسبة ثالث الالومينات ( الومينات الكالسيوم ) ( $C_3A$)عن النسبة الاعتيادية حيث تكون اقل من 5 % حسب المواصفات الأمريكية واقل من 3,5 % حسب المواصفات البريطانية . الاسمنت المقاوم للأملاح له مقاومة جيدة لأملاح الكبريتات الموجودة في التربة والمياه الجوفية لهذا يستعمل عادةً في أسس البناء عند وجود هذه الأملاح علما أن له درجة صلابة تساوي درجة صلابة الاسمنت الاعتيادي .

## (6)الاسمنت البورتلاندي

يصنع هذا النوع من الاسمنت من خلط الطين الخالي من مركبات الحديد مع حجر الكلس - والرمل التي تكون فيها مركبات الحديد واطئة جدا إذأنَّ وجود مركبات الحديد في المواد الأولية يؤثر في درجة بياض الاسمنت .

ان صلابة هذا النوع من الاسمنت مشابه لصلابة الاسمنت الاعتيادي ويستعمل في صناعة البلاط والكاشي وكذلك في صنع الاسمنت الملون حيث يسهل الحصول على الألوان المطلوبة بخلطه مع الأصباغ اللاعضوية المناسبة .

## ب - اسمنت بوزولان

البوزولان مادة غير أسمنتيةالأصل ولكن عند مزجها بنسبة (2-4)أجزاء مع جزء واحد من الحجر المطفأ ($Ca(OH)_2.XH_2O$) تتكون مادة أسمنتية قوية جداً .

## جـ - الاسمنت الالومينـي

يتكون هذا النوع منالاسمنت عند اتحاد مزيج من حجر الكلس معالبوكسايت ( Bouxite) التي تحتوي على أكاسيد الحديد والسيليكا والمغنيسيوم ومواد أخرى غير نقية .

إن هذا النوع من الاسمنت سريع جدا في أظهار قوته وله أفضلية في مقاومة ماء البحر والمياه الحاوية على الكبريتات

## د - الاسمنت المقاوم للتآكل

يستعمل هذا النوع من الاسمنت في تغليف الأنابيب المستعملة في العمليات الكيميائية مثل المفاعلات و مخازن التخمير ومخازن المواد الحامضية الخ . وبصورة عامة يستخدم في الأماكن التي تحوي نسبا من الحوامض والقواعد .

## *المواد الأولية ( الأساسية ) لصناعة الاسمنت

يعد حجر الكلس والطين المادتان الأساسيتين لصناعة الاسمنت في العراق وأصبحت المواد اللاعضوية التي تحويها هاتان المادتان هي المواد الأساسية اللازمة لإتمام هذه العملية والمواد المعدنية هذه هي أوكسيد الكالسيوم ($CaO$) والسيليكا ($SiO_2$) و أوكسيدألحديديك ($Fe_2O_3$) والالومينا ($Al_2O_3$) .

توجد هذه المكونات المطلوبة في مادة اولية واحدة ، لذا كان من الضروري اختيار مكون عالٍ من المحتوى الكلسي مع مكون اخر منخفض المكون الكلسي إلا انه يحتوي على نسبة أعلى من السليكا والالومينا و أوكسيدألحديديك . ويمكن اعتبار الحجر الكلسي والاكاسيد الفلزية المكونات الأساسية لهذه الصناعة .

## 1-المكون الكلسي

أ- حجر الكلس ($CaCO_3$) تنتشر كاربونات الكالسيوم في الطبيعة بشكل واسع وتعد الكاربونات العائدة لجميع التشكيلات الجيولوجية صالحة نوعيا لإنتاج الاسمنت البورتلاندي .

تتميز ببنية بلورية ناعمة ودرجة قسوته تتعلق بعمره الجيولوجي. وتكون عادة أنواع الحجر الكلسي وأقدمها عمرا تتراوح درجة قسوته من (1,8 – 3,0 )بحسب مقياس القسوة لموس ، ووجد أن وزنه النوعي( 2,6 – 2,8 ) ويتلون بلون ابيض في أنواعه النقية فقط ، ويحوي غالبا خلائط من مواد غضارية ومركبات حديدية تؤثر على لونه .

ب - الحوار

هو صخر رسوبي عند مقارنته بحجر كلسي ذي عمر جيولوجي حديث نسبيا . يتميز الحوار ببنية ناعمة مميزة وهذه الخاصية تؤهله للاستعمال بصورة خاصة بوصفه مادة أولية لتصنيع الاسمنت بالطريق الرطبة ، وذلك لان استخراج الحوار لا يتطلب عمليات تفجير بالإضافةإلى إمكانية الاستغناء عن عملية التكسير لأعداده لذا يخفض هذا النوع من المواد الأولية من كلفة الانتاج.

ج - المادل

يدعى خليط المواد الحاوية كاربونات الكالسيوم و مواد غضارية و أكاسيد الحديد المادل . ويشكل المادل عنصرا انتقاليا إلى الغضاريات ، فهو واسع الانتشار في الطبيعة بوصفه مادة أوليةلإنتاج الاسمنت ويعد المادل من الناحية الجيولوجية صخرا رسوبيا ينتج عن الترسب المتزامن لكاربونات الكالسيوم والمواد الغضارية . إن قساوة المادل اقل من قساوة حجر الكلس وتنقص هذه القساوة بازدياد محتواه من المواد الغضارية . ويحوي المادل أحيانا مكونات بيومينية ويعلق لونه بمحتواه من المواد الغضارية ، فهو يتراوح بين الأصفر إلىالأسود الرمادي . والمادل بصورة عامة مادة أولية ممتازة لإنتاج الاسمنت لاحتوائه على الكلس والغضار بحالة متجانسة أصلا .

## 2- المكون الغضاري

يعد ذا أهمية في صناعة الاسمنت وتشكل سيليكات الألمنيوم المائية المكب الرئيس للغضاريات وتقسم الغضاريات على المجموعات المعدنية الآتية

أ - مجموعة الكاؤلين

كاؤلين $Al_2O_3. 2SiO_2.2H_2O$

ثاكبريت $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$

هالوسيت $Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$

ب - مجموعة المونتوريلونيت

مونتموريلونيث $Al_2O_3.4SiO_2.H_2O + AH_2O$

بيديليث $Al_2O_3.3SiO_2.nH_2O$

كونترونيث $(Al_2Fe)_2O_3. 3SiO2.nH_2O$

سابونيث $2MgO. 3SiO_2.nH_2O$

ج- مجموعة الغضاريات ، الحاملة للقلويات

مثل $K_2O.MgO.Al_2O_3.SiO_2.H_2O$

وتختلف مجاميع الغضاريات بعضها عن بعض في المحتوى الفلزي والبنية البلورية والخصائص

الضوئية . ومن الناحية البنائية تعد الغضاريات ناعمة الحبيبات وتكون الجزيئات الغضارية عادة ذات أقطار اقل من 2 مايكرو

## 3- المواد المقومة

في حالة عدم الحصول على مكون كيميائي أساسي في خلطه المواد الأولية للاسمنت بالنسب المطلوبة ، يمكن استعمال مواد مقومة بوصفها مضافات فمن اجل إكمال المحتوى السيليسي يمكن استعمال الرمل والغضار ذي السليكا العالية بوصفها مضافات أو مواد مقومة ولتدارك نقص أوكسيدألحديديك يستخدم رماد البيريث أو خام الحديد مواد مقومة .

## 4- المكونات الإضافية للمواد الأوليةالإسمنتية

أ- أوكسيد المغنيسيوم MgOيتحد هذا المكون حتى نسبة 2 % وزنا في مادة الكلنكر وما زاد عن هذه النسبة سوف يظهر في الكلنكربشكل أوكسيد المغنيسيوم الذي يتفاعل مع الماء متحولا إلى هيدروكسيد المغنيسيوم

$$MgO + H_2O \longrightarrow Mg(OH)_2$$

ويحدث التفاعل بشكل بطيء بينما تكون تفاعلات الصلادة الأخرى قد اكتملت ولما كان هيدروكسيد المغنيسيوم يحتل حجما اكبر من أوكسيد المغنيسيوم أمكن نتيجة لذلك أنيدحث تمزق جزئي لروابط العجينة الإسمنتية المتصلدة مؤديا إلى ظهور شقوق التمدد لذا يجب الانتباه للحفاظ على أوكسيد المغنيسيوم في الكلنكر ضمن حدود ثابتة .

ب- القلويات

توجد القلويات في أوكسيد الصوديوم ($Na_2O$) وأوكسيد البوتاسيوم ($K_2O$) بنسبة 41.4 % من التركيب الأساسي للاسمنت .

ج - الكلوريد

د- الفلوريد

هـ - الفسفور

# طرق صناعة الاسمنت

إن الطرق المستعملة حاليا لإنتاج الاسمنت هي ثلاثة:

1- الطريقة الرطبة أو المبتلة

2- الطريقة الجافة

3- الطريقة شبة الجافة أو نصف الجافة

إنالاختلاف الرئيسي بين الطرائق الثلاثة هو في عملية طحن وخلط المواد الأولية ، حيث تطحن المواد الأولية بالطريقة الرطبة مع إضافة الماء قبل عملية الطحن وأثنائها بحيث ينتج خليط (معجون) نسبة الماء فيه تتراوح بين 30-40% ثم يضخ هذا المعجون إلى خزانات خاصة مفتوحة لتهيئته للحرق في الأفران التي يثبت داخلها عدد من الأسلاك الفولاذية التي تقوم بعملية تجفيف المواد الأولية داخل الفرن.

أما في الطريقة النصف الجافة فأن المواد الأولية تطحن جافة وتنتقل إلى خزانات مغلقة ثم تهيأ وترسل إلى جهاز يقوم يخلطها بنسبة (10%) مع الماء وجعلها غلى شكل حبيبات كروية صغيرة ثم تغذيتها للفرن عن طريق شبكة متحركة لتجفيفها ثم تدفع إلى الفرن الدوار لحرقها .

في الطريقة الجافة تطحن المواد الأولية مع تسخينها لتتحول إلى مسحوق ناعم ثم تنتقل إلى الخزانات المغلقة وتهيأ وترسل للفرن عن طريق جهاز يتم فيه التبادل الحراري إما باستعمال الماء أو الهواء البارد . وبعد ذلك تدفع إلى الفرن الدوار الذي لاتوجد فيه سلاسل فولاذية كالتي موجودة بالطريقة الرطبة حيث تتم فيه عملية الحرق .

تتضمن عمليات الإنتاج بالطريقة الرطبة المراحل التالية

## المرحلة الأولى

يتكون الاسمنت من المواد الأولية التي هي :

(1) حجر الكلس : الذي يتكون من كاربونات الكالسيوم و الومينا و حديد و سيليكات بدرجات متفاوتة

(2) الطين الذي يتكون من $SiO_2$ , $Fe_2O_3$ , $Al_2O_3$حيث توجد هذه المواد في المقالع الحجرية التي تعتمد على طبيعة الأرض .

أ- حجر الكلس. تتم عمليات استخراج حجر الكلس بواسطة التفجير ونقله إلى الكسارات وهذه تكون مختلفة حجما وشكلا ، وأكثر الكسارات الشائعة هي الكسارات المطرقية .

وهذه تتكون من جزء دوار يوجد حوله عدد من المطارق التي تحول الأحجام الكبيرة من حجر الكلس إلىأحجام صغيرة أو مسحوق ، وبعدها ينقل هذا الحجر إلى المخازن الموجودة داخل المعمل .

ب - الطين

يوجد في مقالع مكشوفة ينقل بواسطة السيارات إلىأماكن غسله قبل دخوله العمليات الإنتاجيةلإزالة الشوائب والأوساخ منه حيث يستعمل لذلك نوع خاص من الغسالات . تدخل مادة حجر الكلس المطحون مع الطين النظيف إلى الطاحونة وهي عبارة عن أنبوب قطره (2-5) متر ، وهذه الأنبوبة تكون مقسمة من الداخل إلى غرف أو حواجز تسمى دايفرام (Diphrams) ، وفي كل غرفة يوجد عدد معين من الأجسام الطاحنة التي توجد بأوزان معينة وتكون كروية الشكل .

تدخل المواد الأولية التي تكون بنسبة 70% من حجر الكلس كي تطحن ثم ينقل حجر الكلس المطحون بواسطة الحزام المتحرك ( Moving Belt ) الذي تعتمد سرعته على الكمية الإنتاجية للطاحونة وسرعة محرك الطاحونة . أما الطين فأنه يدخل على شكل معجون بواسطة مضخات وتعتمد كميته على كمية حجر الكلس الداخلة في العملية الإنتاجية .

لا يضخ الطين بصورة مباشرة إلى الطاحونة وإنما يضخ في أوعية تكون أشبه بالناعور وسرعته تعتمد على إنتاجية الطاحونة حتى تحقق النسبة 30% من الطين و20% من حجر الكلس .

إن مايجري من عمليات داخل الطاحونة هو السحق والمزج فقط أيأنها عمليات فيزياوية صرفة ولا تحدث أية تفاعلات كيمياوية وان المادة الحاصلة هي المعجون (Stary) الذي يجب أن يكون ضمن مواصفات خاصة مثل قوة الشد والصلابة .

وتحدد النسبة على أساس القوة المعتمدة للاسمنت ومركب سيليكات الكالسيوم($C_3S$) الموجود في مادة الكلنكر هو الذي يحدد قوة الاسمنت ، بالإضافة إلى مواد أخرى مثل ( $C_2S$ ) وكبريتات أخرى موجودة بالطين . وعند مزج أو خلط نسبة الحجر مع الطين نحصل على خليط المواد اللينة ( المعجون ) وهذا المعجون يحتوي على نسبة معينة من كاربونات المغنيسيوم وكاربونات الكالسيوم ومواد أخرى يحتوي عليها الطين مثل الكبريت والحديد ، ويجب أن تكون كاربونات الكالسيوم بنسبة 74% وهذه تعتمد على كاربونات المغنيسيوم التي تأتي من الطين أو مع حجر الكلس ، وكلما زادت نسبة كاربونات المغنيسيوم في العجينة انخفضت قيمة الكلس الفعّال ، إن كاربونات المغنيسيوم الفائضة تخرج في الكلينكر على شكل ($C_3S$) .

يمكن التعبير عن كاربونات الكالسيوم بعامل التشبع الكلسي

$$L.S.F = \frac{CaO}{Si2O\%+Al2O3\ \%+\ Fe2O3\%}$$

أي النسبة المئوية لكربونات الكالسيوم والتي هي 74% ويعطي هذا المعامل إشارة مسبقة إلى صلاحية الاسمنت للاستعمال وجودته .

وهناك معامل آخر للكشف عن جودة الاسمنت وهذا العامل يسمى عامل السيليكات

$$\frac{SiO2}{Al2O3\ \%+Fe2O3\ \%}=$$

وكذلك هنالك عامل يسمى عامل الالومينا $\frac{Al2O3}{Fe2O3\%}=$

**المرحلة الثانية**

عملية الحرق

يتم الحرق بأفران دوارة تسمى ( Rotary Furnace ) وتكون ذات أبعاد مختلفة وتعتمد على إنتاج الفرن نفسه ، يغذى المعجون إلى هذه الأفران برافعات معينة ترفع المعجون من المخزن إلى الفرن . ويوجد هنالك وعاء لأخذ كمية معينة تعتمد على إنتاج الفرن وعلى كمية المواد المستعملة للحرق وكذلك على سرعة دوران الأفران . وتوجد أيضا مضخات مكبسيه تقوم بضخ هذا المعجون إلىالأفران .

إنأول منطقة في داخل الأفران الدوارة هي منطقة التجفيف ويحدث فيها فقط عملية تجفيف وطرد كل محتويات الماء التي تحدث في الطريقة الرطبة . في هذه المنطقة توجد سلاسل حديدية والتي تكون على عدة تصاميم وأشكال .

في هذه المنطقة تتم عملية التجفيف داخل الأفران الدوارة والمائلة وتقوم السلاسل الحديدية بعرقلة حركة المعجون داخل الفرن .

في بداية الفرن توجد منطقة تسمى منطقة الدخول وتوجد فيها مراوح ساحبة التي تسحب الغازات وتعمل على زيادة التجفيف داخل الفرن ، بعد عملية التجفيف إلى حد معين يَترك المعجون منطقة التجفيف ويخرج على هيئة مسحوق في هذه المنطقة تحدث التفاعلات الكيمياوية الآتية :-

1- فقدان ماء الرطوبة بدرجة 100م° .

2- فقدان ماء التبلور وتفكك عناصر الغضار أو المعجون .

3- $Al_2O_3.\ 2SiO_2.\ 2H_2O \xrightarrow{500-550\ c^\circ} Al_2O_3.2SiO_2 + 2H_2O$

تفاعلات ماصة للحرارة

$$MgCO_3 \xrightarrow{600C^\circ} MgO+CO_2$$

$$CaCO_3 \xrightarrow{800C^\circ} CaO+CO_2$$

4- بدرجة 800 م° نحصل على المركبات الآتية .

$$CaO + Al_2O_3 \xrightarrow{800\ C^\circ} CaO\ .\ Al_2O_3$$

$$CaO + Fe_2O_3 \xrightarrow{800\ C^\circ} CaO\ .\ Fe_2O_3$$

$$CaO + SiO_2 \xrightarrow{800\ C^\circ} CaO\ .\ SiO_2$$

5- بدرجات الحرارة 900 – 950 مْ نحصل على الومينات الكالسيوم الخماسي وسيليكات الكالسيوم الثنائي .

$$5\ CaO + 3\ Al_2O_3 \longrightarrow 5CaO\ .\ 3Al_2O$$

$$2CaO + SiO_2 \longrightarrow 2CaO \cdot SiO_2$$

6- بدرجات الحرارة مابين (900 – 110 ) مْ نحصل على المركبات التالية :

$$CaO + CO_2 \longrightarrow C_4AF \ , \ C_3A \ , \ C_2A_5$$

$$CaO + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \longrightarrow 4CaO.Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$$

$(C_4AF)$

7- في درجة حرارة 1260 مْ نحصل على السائل الليِّن $(C_3A)$

$$3CaO + Al_2O_3 \longrightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \quad (C_3A)$$

8- بدرجة حرارة (1200- 1450 ) نحصل على $(C_3S)$

$$CaO + SiO_2$$

$$CaO \cdot SiO_2 \longrightarrow 3CaO \cdot SiO$$

$$2CaO \cdot SiO_2 \qquad (C_3S)$$

بعد هذه التفاعلات يتم الحرق النهائي في منطقة (Burning Zone) الموجودة قرب نهاية الاسطوانة الدوارة ، ودرجة الحرارة عند هذه المنطقة في حدود 1400 مْ وتتحول مادم العجينة في هذه المنطقة إلى ما يطلق عليه بمادة الكلينكر .

## المرحلة الثالثة .

سحق الكلينكر : تعد المادة الأولية في صناعة الإسمنت التي تحتوي على الكثير من المواد الأولية هي $(C_3S)$ . و الكلينكر المنتج يجب أن يبرد من خلال استعمال مراوح تبريد على محيط الفرن أو من خلال ضخ هواء بارد من منطقة نهاية الفرن إلى الأعلى . وتوجد في داخل الفرن كذلك منطقة تعمل على نشر الكلينكر مما يزيد من مساحته السطحية ثم تزداد قابلية التبريد في داخل الفرن التي يجب أن لا تزيد عن 150 مْ . يطحن الكلينكر بنعومة معينة بالطريقة التي طُحنت بها المواد الأولية .

المراحل الإنتاجية لصنع الأسمنت بالطريقة الجافة :

**1 – المرحلة الأولى**

قلع ونقل وتكسير حجر الكلس وتراب الطين . هذه المرحلة مشابهه لما هو موجود في الطريقة الرطبة من الناحية الصناعية بعد إكمال تكسير المواد الأولية يتم نقلها بالأحزمة الناقلة إلى المرحلة الثانية

**2- المرحلة الثانية**

خلط المواد الأولية ( تحقيق التجانس)

عند نقل المواد الأولية من حجر الكلس والتراب الى المرحلة الثانية تمر بوحدة اخذ النماذج للمختبر لعمل الفحوصات اللازمة . ثم يستمر نقلها إلى حوض ارضي ارتفاعه متر ونصف بأجهزة خاصة وذلك لتحقيق التجانس المطلوب ما بين حجر الكلس وتراب الطين . ينقل بعدها إلى قسم مخازن المواد الأولية وهي عبارة عن سايلوات خاصة توجد فيها أجهزة تعمل على إكمال مزج المواد الأولية . عن طريق المخازن هذه يتم تغذية الطواحين بالمواد الأولية .

## 3-المرحلة الثالثة

طواحين المواد الأولية:

وهذه المرحلة مشابهه تقريبا بما هو معمول به في الطريقة الرطبة فيما عدى إن المواد المطحونة يمرر عليها أثناء الطحن هواء حار صادر من الأفران . وفائدة ذلك هو تخليص الخليط من الرطوبة الموجودة فيه وبعد إكمال عملية الطحن ينقل مسحوق المواد المتجانسة إلسايلوات تغذية الأفران .

**4- المرحلة الرابعة**

أفران الكلنكر

وهذه المحلة تشكل أساس فكرة الطريقة الجافة حيث يتكون الفرن على شكل حرف L ويبلغ طول الجزء العلوي منه حوالي 17 مترا ويقسم إلى خمسة أقسام كل منها يحتوي في أعلاه على حواجز مشرحة على شكل القبة وتكون مبطنة بطبقة من الطابوق الناري . أما الجزء الثاني من الفرن وهو الجزء الدوار فيبلغ طوله 7 متر وقطره 3متر ومبطن أيضا بالطابوق الناري ، ينتهي الفرن بمنطقة وجود النار . وقد صمم الفرن بحيث أن جميع الغازات المتصاعدة من حرق المواد الأولية تخرج منه بسهوله .

فعند تغذية الفرن بالمواد الأولية من الجزء العلوي تواجه المواد الأولية المطحونة بتيار من الهواء الحار تبلغ درجة حرارته حوالي 150 مْ وتعمل الحواجز الخمسة الموجودة في الجزء الأعلى من الفرن على تحقيق التبادل الحراري ( Heat exchange) وعند وصول المواد الأوليةإلى الجزء الثاني من الفرن تكون درجة الحرارة حوالي 800 مْ وهنا تبدأ عملية الحرق حتى انتهاء الفرن في منطقة وجود النار أو بيت النار . وتكون درجة الحرارة هنالك في حدود 1500 مْ فيخرج الكلنكر ويسقط على مبردات - أوتوماتيكية ومنها ينقل بحوامل حديدية إلى ساحة خزن الكلنكر

**5- المرحلة الخامسة :**

طواحين الاسمنت :

هذه المرحلة تشبه ما هو معمول به في الطريقة الرطبة من الناحية التكنولوجية مع وجود بعض الاختلاف في المعدات المستخدمة

**6- المرحلة السادسة :**

التعبئة :

وتبدأ عند نقل الاسمنت المطحون إلسايلوات الاسمنت حيث تتم تعبئته في أكياس ذات أوزان معينة أوإلى سيارات حوضية خاصة.

## تفاعلات مكونات الاسمنت مع الماء أثناء عملية التصلب

إن مركبات الكلنكر ليست بالمركبات الثابتة ، فهي تتحلل بالماء منتجة مركبات جديدة ممكن أن تكون متبلورة أو بحالة غروية . والى هذه المركبات تعزى صفات الاسمنت العملية كالصلابة والمقاومة . ليس من السهولة دراسة جميع هذه المركبات الناتجة من تميوء الاسمنت ، فهي مركبات معقدة وكثيرة ، ومن أهم الطرائق المستخدمة لهذه الدراسة هي الطرائق الضوئية ( المجهر العادي والمجهر الالكتروني ) واستعمالات الأشعة السينية .

1 – تفاعلات سيليكات الكالسيوم الثلاثي ( $C_3S$) الاليت (Allte)

عندما يضاف الماء إلى الاسمنت يبدأ مركب سيليكات الكالسيوم الثلاثي بالتحلل ويعطي :

أ – هيدروكسيد الكالسيوم .

ب – سيليكات الكالسيوم المائية وهي عبارة عن مادة هلامية

$$3CaO . SiO_2 + 2 H_2O \rightarrow CaO . SiO_2 + Ca(OH)_2 + 120\ cal/gm$$

نلاحظ من هذا التفاعل أن الماء يحلل المركب ($C_3S$) وينتج $Ca(OH)_2$أي يصبح الوسط في حالة التصلب قلويا ويكون الأس الهدروجيني PHاكبر من 7 .

إن تفاعل الماء مع $C_3S$ لايكون بالشكل الذي يتم فيه $C_3A$ حيث يجري التفاعل كليا في حالة الالومينات . ففي حالة سيليكات الكالسيوم تتشكل حول بلورة ($C_3S$) حالة من مادة غروية وهي ($C_3S. H_2O$) وبعد مضي فترة من الزمن ينتقل الماء في هذه المادة من الجزء القريب داخل بلورة $C_3S0$) وبذلك يتم تصلب الهالة الخارجية فتمنع وصول الماء إلى بقية أجزاء البلورة وتقف عملية التصلب أو التجمد عند هذا الحد .

2 – تفاعلات البيليت (Belite) والفيليت (Felite)

$$2CaO . SiO_2 + 4 H_2O \longrightarrow 2CaO.SiO_2 . 4H_2O + 62cal/gm$$

وينتج هذا التفاعل مع الماء . ونلاحظ من خلال التفاعلين ما يأتي :

1 – إن التفاعل يحدث دون تفكك المركب .

2 – تفاعل البيليت ($C_2S$) اقل من تفاعل ($C_3S$) في أثناء عملية التجمد ، أي عمليا نحصل على مقاومة بطيئة .

3 – حرارة التجمد أو التصلب أقل بكثير من حالة ( $C_3S$) .

3 – تفاعل الومينات الكالسيوم الثلاثي

نحصل على سادس هدروكسيالومينات الكالسيوم الثلاثي الذي يتبلور على شكل مكعبي ويساعد على تماسك حبيبات الرمل .

$$3CaO.Al_2O_3 + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2\ Al(OH)_3.H_2O + 207\ cal/gm$$

$Ca(OH)_2\ Al(OH)_3.H_2O$ من الممكن أن يكتب على شكل :

1 – $Ca_3Al_2\ (OH)_{12}$

2 – $Ca_3(Al(OH)_6)_2$

3 – $3CaO.Al_2O_3.6H_2O$

4 – تفاعلات السيليت ( Celite ) $C_4AF$

يتحلل هذا المركب ( $4CaO.Al_2O_3.\ Fe_2O_3$ ) بالماءمكونا هيدروكسيد الكالسيوم بالإضافةإلى الومينات الكالسيوم المائية $Ca_3Al_2(OH)_2$ وهيدروكسيد ألحديديك الغروي . تقدر حرارة التصلب لهذا المركب بـ 100 cal/gm

وعندما يضاف الجبس الحي إلىالكلنكر فأن ذلك يؤثر بصورة رئيسية في تفاعلات ($C_3S$) حيث يتكون لدينا بدلا من $Ca_3Al_2(OH)_2$ ملح مضاعف من هذا الأخير مع $CaSO_4$ وعندما تزداد كمية الجبس يتشكل نوع من البلورات تدعى Ettringit ذات تركيب $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$ ويرافق تشكيل هذه البلورات ازدياد في الحجم مما يشكل تشقق في الاسمنت .

إن العدد الإجمالي لمعامل الاسمنت في العالم يزيد على 1750 معمل في أكثر من 135 دولة من الدول المصنعة للأسمنت . (ما عدا المعامل الصغيرة في الصين ) . ويبلغ قيمة الإنتاج العالمي من الاسمنت البورتلاندي عام (1994) يزيد عن 130 مليون طن في السنة .

وباستخدام معامل المطحون ( Clinker ) \ عامل المواد الخام بقيمة 1,7 يصبح مقدار المواد الخام الطبيعية المستهلكة سنويا مقدارها 2373 مليون طن .

وبإضافة 4% من الجبس نحصل على 2604 مليون طن من المواد الخام الطبيعية المستهلكة لكل سنة مأخوذة من الليتوسفير ( القسم العلوي من الأرض القشرة – المعطف العلوي ) معظمها من الصخور الرسوبية .عند حرق هذه الكمية من المواد الخام هذا يؤدي إلى تحرير أكثر من

(1302) مليون طن من ثاني أوكسيد الكاربون بالسنة وإطلاقها في الغلاف الجوي للأرض والذي سيساهم في خلق أزمة مناخية في كوكبنا .

## الاختبارات لمعرفة نسبة الشوائب الداخلة في الاسمنت

1)فحص الاسمنت في جهاز XR.F

يجري تحليل كيميائي الاسمنت لمعرفة النسب الاتيه

| | | | |
|---|---|---|---|
| SiO2 | 20 to 25 % | MgO | 0.5 to 4.5 % |
| Al2O3 | 2 to 7 % | SO3 | 0 to 2 % |
| Fe2O3 | 1 to 4.5 % | K2O | 0.3 to 1.5 % |
| CaO | 64 to 70 % | Na2O | 0.3 to 1.5 % |

يتم ها الفحص على خليط من المواد الاولية للاسمنت في كل مرحلة من مراحل التصنيع وعلى الناتج النهائي ايضا للتاكد من عدم وجود الشوائب وكذالك مت وجود النسب المطلوبة للحفاظ على جودة الاسمنت .حيث نقوم بكبس 10 من النموذج في اقراص خاصة ثم نضعها في الجهاز)( .ان كل هذه النتائج التي يتم قرائتها في جهاز تقارن مع المواصفات العراقية.

أ)Rm.E1 نموذج ماخوذ من طاحونت المواد للفرن الاول

ب)Rm.E2 نموذج ماخوذ من طاحونت المواد للفرن الثاني

ج)CL.K1 نموذج ماخوذ من الفرن الاول قبل دخوله الى مخزن الكلنك

د)CL.K2 نموذج ماخوذ من الفرن الثاني قبل دخوله الى مخزن الكلنكر.

ه)HM1R , HM1L نماذج ماخوذه قبل دخول المواد للفرن وتسمى تغذية افرن.

HM2R . HM2L

و)N1,N2,N3,N4 نماذج ماخوه من طواحين الانت الربعة

**فحص النعومة :**

يعد قياس حبيبات الاسمنت عاملا هاما يؤثر على مدى تفاعل الاسمنت مع الماء . وذللك لان مجموع مسساحة السسطوح لوزن معين من عينه من الاسمنت ذي درجه نعومه تكون اكبر من مجموع ابسطوح لنفس الوزن من الاسنت ذي درجه نعومه اقل . وهناك طيقتين لقياس النعومه

أ)طريقه فاغنر(بالنخل)

نضع 5 من النموذج )( في المنخل () ثم نحسب الوزن المتبقي في المنخل ونجد الفرق بين الوزن الاصلي والوزن المتبقي ونضربه في 100% لنجد النسبه . يجب ان لاتزيد هذه النسه عن 10%حسب المةاصفات العراقيه

ب)طريقه بلين

يعتمد مبدء اختبار بلين على قياس الزمن الازم لتسرب حجم ثابت من الهواء تحت ضغط معين عبر طيقه من الاسمنت ودللك بواسطه جهازبلين

*يتالف الجهاز من

1-خليه نفوذيه : تتالف من اسطوانه قطرها الداخلي 0.1

2-الشبك المثقب: هو معدن ذو سماكة 0.1

3-المكبس : من الفولاذ يمكنه الدخول الى الخليه

4-النانوميز: هو عباره عن انبوب زجاجي ذو قطرداخلي 9

5-سائل المانوميتر: هو عباره عن سائل ذولزوجه ضعيفه وكثافه منخفضه ()

6-ساعة الميقات : يمكن قراءة الزمن عليه بدقه

*اجراء الاختبار

يوضع الشبك المثقب في قعر الخليه ويثبت فوق القرص من ورقت الترشيح .ثم نزن كميه من الاسمنت بدقه 0.01 نرص العينه ثم نضع القرص الثاني من ورقه الترشيح ونرص العينه مرره اخرى بواسطت المكبس ثم ندور المكبس ببطء لاخراجه من الخليه .

توضع الانبوبه على انبوبه النانوميتر ثم يطبق ضغط الامتصاص للهواء بواسطة الرمانه الماصه حبث يرتفع مستوى السائل الى خط العلامه ثم نغلق الصمام ونشغل الميقاتيه .

عند وصول مستوى السائل الى خط العلامه الثاني نقيس الزمن الذي استغرقته.

$$\text{مساحة السطح} = \frac{\sqrt{k * \text{الوقت المستخرج}}}{\text{الوقت المستغرق}}$$

K=2.30177

فحص الكلس الحر (CaO) (free lime):

تعين نسبة الكلس الحر(CaO) ووجوده بنسبه مرتفعه يدل اما على عدم جودة طحن اتلمواد الاوليه او على عدم تجانسها قبل الحرق او عدم حرقها بالفرن بصوره كليه . ان الكميه المحدوده يجب ان لا تتجاوز 2% واذا زادت عن هذه النسبه فان ذللك يؤثر في متانت الاسمنت .حيث يتمدد الكونكريت على فترات بعد صبه بسبب وجود الكلس الحر في تركيب الاسنت الذي يصب منه الكونكيت حيث يتحول الكلس الحر الى هيدروكسيد الكالسيوم ثم الى كاربونات الكالسيوم فيزداد حجمه ولذلك يتمدد الجسم الكونكريتي او يتشقق.

خطوات الفحص

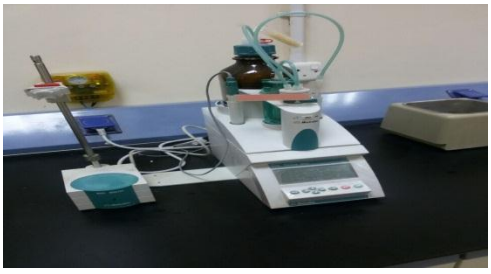
1- نقوم بوزن 0.5g من النموذج ونضعه في بيكر ثم نضيف اليه الكلايكول ايثلين

2- نرشح المحلول وناخذ الراشح لتسحيحة بحامض ممم

3- نحسب الحجم النازل ونضربه *0.58

فحص الكلوريدات:

ان وجود 1 بالاف من الكلوريدات فاكثر سواء في المواد الخام او في الاسمنت الناتج يضغف قوة التحمل للاسمنت .لذلك نقوم بفحص نسبة الكلوريدات في الاسمنت والمواد الاوليه بجهاز فحص الكلوريدات (Automitic titrator)



1- نزن5g من النموذج المراد فحصه و نضعه في بيكر

2- نضيف الى البيكر 75ml من الماء المغلي و نرشح

3- ناخذ الراشح ونفحصه في الحهاز

4- القراءه الضاهره على الشاشه نضربها في 6.004

**فحص النفط :**

اذاكانت نسبة SO3 الموجود في النفط عاليه يمكن ان تؤثر على النسب الكيميائية الداخله في صناعة الاسمنت, لذلك نقوم بفحص النفط وتتم هذه العملية بعدة خطوات:

1-نضع5g من النفط في الكبسوله الخاصه بجهاز الحرق للنفط (Bom calorimeter)ثم نضع الكبسولة في الجهاو لمدة نصف ساعة.

2- ناخذ النفط المحروق ونضعة في بيكر ثم نضيف اليه 90 من الماء المقطر

3- نرشح المحلول وناخذ ورقة الترشيح الحاوية على الراسب ثم نحرقها في جفنه موزنه

4- نوزن الجفنه بعد الحرق وهو نسبة لبلب في النفط.

فحص السليكا الغير ذائبة (IR)

ان الرواسب الغير ذائبه هي جزء الاسمنت الذي لايذوب في حامض الهيدروكلوريك ان مصدره بشكل رئيسي من السليكا الغير فعالة . لذلك نقوم بحساب نسبة السليكا الغير ذائبه في الاسمنت والمواد الاليه بعدة خطوات:

1- نزن1g من النموذج ونضعه في بيكر ثم نستخدم المحرك الزجاجي لغرض التحريك

2- نضيف الى البيكر 90ml من الماء المقطر و 10ml من الحامض HCl المركز ثم نسخن لاتمام عملية الاذابه .

3- نرشح المحلول ونضع الورقه الحاويه على الراسب فس بيكر ونضيف اليه100ml من NaCO3

4- نضعه في حمام مائي لمدة نصف ساعة . ثم نرشح مرة ثانيه وناخذ الورقه الحاويه على الراسب ونحرقها في جفنه موزونه ثم نوزنها بعد الحرق ونجد الفرق وهو وزن السليكا الغير ذائبه.

**الفحوصات النهائية:**

نقوم بعمل عجينة الاسمنت من بواسطة جهاز (mixer) حيث نقوم بوضع كميات محدده من الاسمنت والرمل والماء لصنع عجينه متجانسه.

*ناخذ جزء من هذه العجينه لفحص (Setig time)(Expantion)ويجب ان تكون النتائج مطابقة للمواصفات حسب الجدول.

| الفحص | IQ 1987 | EN.197 | AC TM |
|---|---|---|---|
| Setign time | 45 Min | 60 Min | 60 Min |
| Expantion | 0.8% | 0.8% | 1% |

*ناخذ جزء اخر من العجينة لعمل قوالب خرسانية صغيرة لمعرفة قوة التحمل للاسمنت نقوم بصنع هذه الخرسانات بمكائن خاصه حيث تستخدم المكائن في الشكل1 لصنع القوالب للمواصفات الاوربية والمكائن في الشكل 2 لصنع القوالب للمواصفات العراقية.ثم نضع هذه الخرسانات الصغيرة في احواض مياه ولمدة محددة حسب الجدول

| IQ 1987 | | EN.197 | | AC TM | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3D | 15MP | 2D | 20MP | 3D | 20MP |
| 7D | 23MP | 28D | 42MP | 7D | 28MP |

*واخيرا نضع الخرسانات في الجهاز (Compression macgine)لمعرفة قوة التحمل للاسمنت ومقارنتها مع المواصفات في الجدول السابق.

# المصادر


1- أ.د محمد مجدي واصل (اسس الكيمياء) الطبعة العربيه 2005

دار الفجر للنشر والتوزيع

2- عبد الله عبد الشكور- محمود شاكر المحسن (العمليات الصناعية) الطبعة العربية 2008م

دار البازوري لعملية النشر والتوزيع

3- الخفاجي ، د. جواد كاظم وجماعته ،( الكيمياء الصناعية )

مطبعة جامعة بغداد (1988 م )

4- شيث نعمان (أدخال الى الكيمياء الصناعية )

5- طارق اسماعيل كاخيا (كتاب الكيمياء الصناعية ..الجزء الاول)

6- جلال الحاج عبد (الاسمنت)

7- https://ar.wikipedia.org/wiki/%D8%A3%D8%B3%D9%85%D9%86%D8%AA