الأسمنت

١- مقدمه

الأسمنت هو مادة لها قابليه للإلتصاق والتماسك مع الركام وكل انواع الأسمنت تمتلك خاصيه عامه وهي قابليتها للشك والتصلد عند خلطها بالماء ويتكون من مواد جيريه ومواد طينيه.

الأسمنت المعروف والشائع الاستخدام في البناء هو الاسمنت البورتلاندى الذي اكتشفه جوزيف أسبيدن (Joseph Aspdin) البناء الانجليزى فى أوائل القرن التاسع عشر عام ١٨٢٤م، ويرجع اسم بورتلاند إلى تشابه صلادة الأسمنت البورتلاندى مع بعض أحجار البناء الموجودة فى جزيرة بورتلاند بإنجلترا لذلك أطلق على هذا النوع من الأسمنت بالأسمنت البورتلاندى والذي ينتج من تسخين خليط من الطين الناعم جدًا والحجر الجيري فى فرن حتى يتطاير ثاني أكسيد الكربون لتحصل على مادة أسمنتيه لاحمه، وبدأت صناعة الأسمنت في مصر عام (١٩٠٠م) واول مصنع في المعصره.

٢- استخدامات الأسمنت:

١- صناعة الخرسانه (عاديه- مسلحه- سابقة الإجهاد) يستخدم الأسمنت كماده لاحمه بين أجزاء الركام ولا تستخدم العجينه الأسمنتيه بمفردها لأن سطح العجيه قابل للإنكماش والجفاف لذا نضع الركام في الخرسانه حيث أنه يقاوم الانكماش ويقلل من كمية الأسمنت.
٢- تغطية الحوائط: يستخدم الأسمنت في مونة البياض.
٣- يستخدم الأسمنت في وحدات البناء من البلاط والطوب.

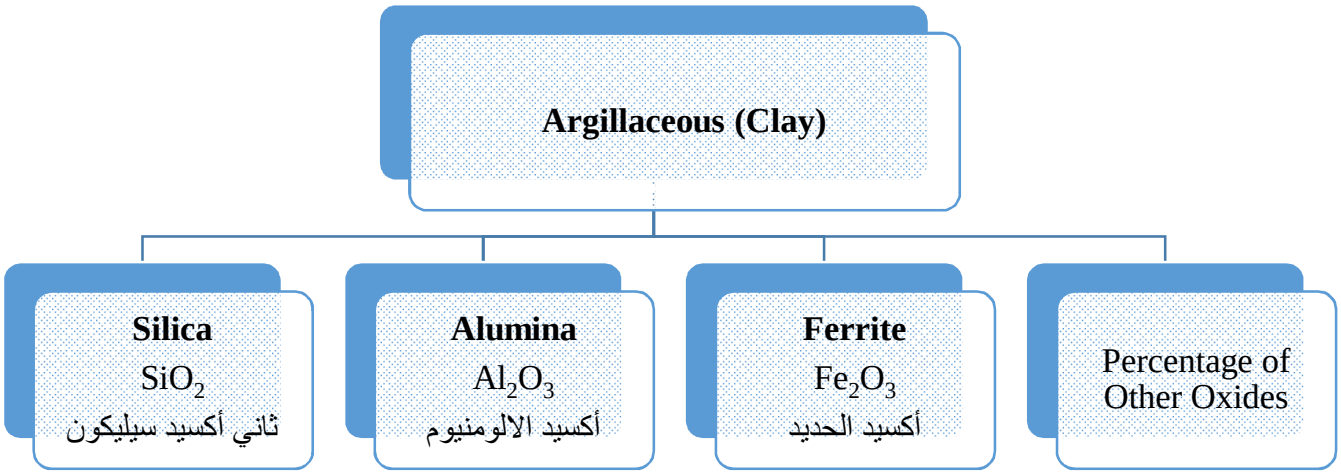
٣- الأسمنت البورتلاندي

هو الماده الناعمه الناتجه من طحن وتنعيم ناتج حرق المواد الجيريه والطينيه او المواد الجيريه والمواد المحتويه على سيليكا والومنيا واكسيد حديد لدرجة التسميت على ان تكون هذه المواد مخلوطه قبل عملية الحرق خلطا تاما جيدا مع عدم اضافة ماده اخرى بعد الحرق سوى الجبس.

٣- صناعة الأسمنت البورتلاندي

٣-١ المواد الخام

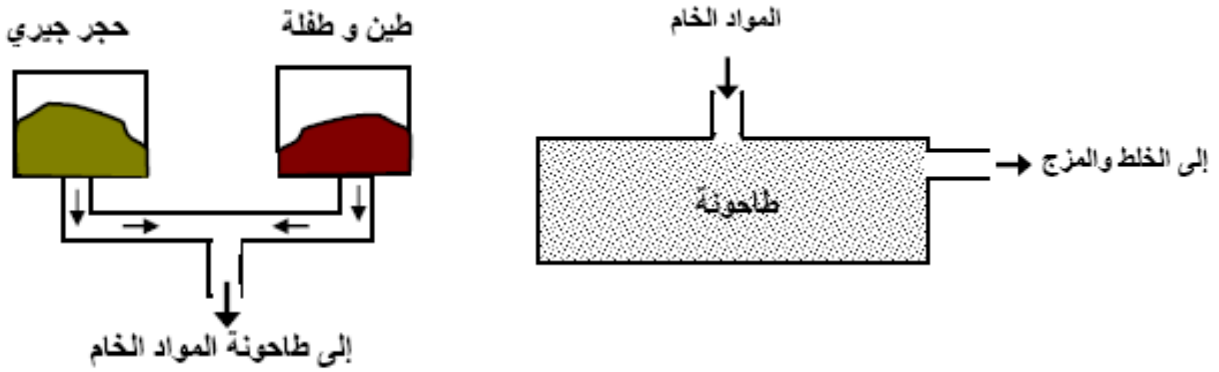
١- المواد الجيريه (الحجر الجيري) Calcareous (Lime Stone) $CaCo_3$
٢- مواد طينيه Argillaceous (Clay)



٢-2 خطوات صناعة الأسمنت

١- طحن المواد الأوليه (Grinding of raw materials)

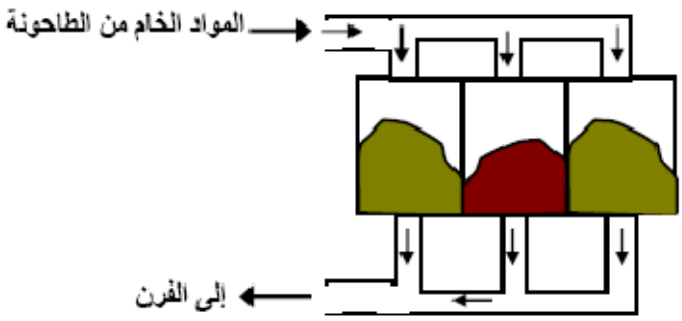
تفتت المواد الخام في الكسارات ثم تطحن في طواحين الكرات (Ball Mills) وتطحن في حالتها الجافه أو الرطبه.



إعادة طحن المواد الخام بعد خلطها

٢- مرحلة خلط المواد (Mixing of raw materials)

تأخذ المساحيق بعد الطحن وتخلط بنسب معينه معلومه لتشكل عجينه ثم توضع في صهاريج تسمى صهاريج العجينه (Slurry Tanks) ويتم التأكد من دقه نسب الخلط المطلوبه عن طريق التحليل الكيميائي.



خلط المواد الخام مع بعضها

٣- الحرق (Burning)

تحرق العجينه في الافران الدواره (Rotary oven) الى درجة حرارة التسميت (١٤٠٠م) فتتحول الى كلنكر(Clinker) وهو عباره عن حبيبات سوداء صغيره اقطارها تتراوح بين ١-٥ مم ولا يستخدم مباشرة لانها تشك بسرعه مثل الجبس.

ويكون الحرق بأحد الطريقتين:

- **الطريقة الرطبة:** وهى أقدم طريقه استعملت فى صناعة الأسمنت مع نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين. هذه الطريقه تستهلك كثيرًا من الطاقه، ولكنها تمكننا من الحصول على مواد ذات جودة عاليه. تستعمل هذه الطريقه إذا كانت المواد الخام تحتوي على نسبه رطوبه عاليه تتراوح ما بين ٣٠ إلى ٤٠% وقد يصل طول الفرن فى هذه الطريقه إلى ٢٣٠ متر وقطره من ٥ إلى ٧متر، وبإنحدار ٣% للمساعده على تدحرج الماده. ومعظم مصانع إنتاج الأسمنت البورتلاندى فى مصر تستعمل هذه الطريقه.

- **الطريقة الجافه:** وهى نتاج للتطور الهائل فى التكنولوجيا الحديثه حيث تستهلك حوالي ٦٠% من الطاقه المستهلكه فى الطريقه الرطبه وتمر المواد الخام الأوليه على مستويات مختلفه فى درجة حرارتها والتي تبدأ من ٩٥٠درجه مئويه فى بداية الفرن حتى تصل إلى ١٥٠٠درجه مئويه فى نهاية الفرن، ويصل طول الفرن إلى ٧٠متر. وقد تصل الطاقه الإنتاجيه فى هذه الطريقه إلى ٣٥٠٠ طن/يوم. وهناك بعض الحالات التى تضطر القائمين على صناعة الأسمنت إلى استخدام تلك الطريقة، وذلك عندما تكون المواد الخام صلدة لدرجة أنها لا تتفتت بالماء كما أنها أيضا تستعمل فى البلاد الباردة جدًا حيث أنه يخشى على الماء من التجمد فى الخليط .كذلك تستخدم أيضا فى حالة قلة الماء اللازم لعملية الخلط كما هو الحال فى بلاد الجزيره العربيه.

- فى جميع طرق التصنيع تمر المواد الخام بثلاث مراحل مختلفه فى درجات الحراره:

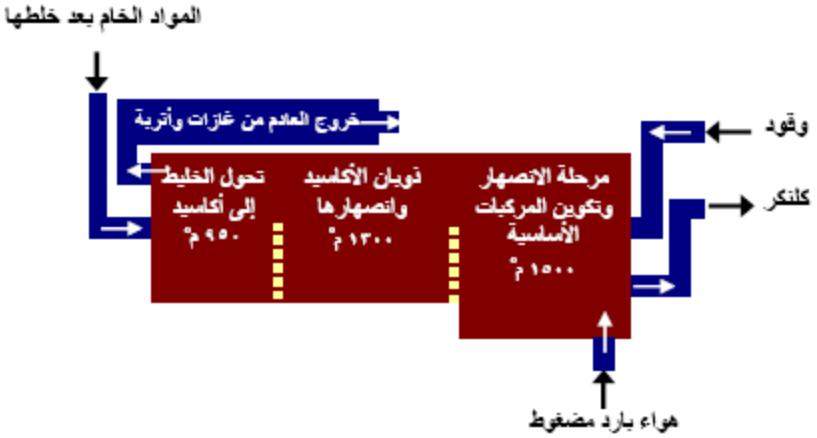
أ- **مرحلة تحول الماده** والتى أصلها كربونات الكالسيوم **($CaCO_3$)** إلى أكسيد الكالسيوم**(CaO)** عند درجه حرارة ٩٥٠درجه مئويه.

ب- **مرحلة ذوبان المواد الرئيسيه** مثل أكاسيد الكالسيوم والألمونيوم والحديد فى حراره من ١٢٥٠ إلى ١٣٥٠درجه مئويه والتى عندها بداية الانصهار.

جـ- **مرحلة الانصهار** والتى تحدث بين المواد المختلفة والحصول على مواد جديدة ، وهى عبارة عن:

C_3S	سيليكات ثلاثي الكالسيوم
C_2S	سيليكات ثنائي الكالسيوم
C_3A	الومينات ثلاثي الكالسيوم
C_4AF	الومينات حديد رباعي الكالسيوم

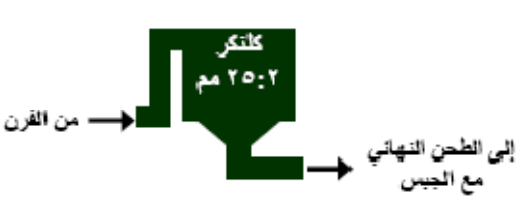
عندما تصل هذه المواد المنصهرة إلى آخر مرحله فى الفرن، تكون الحراره حوالى ١٥٠٠درجه مئويه.



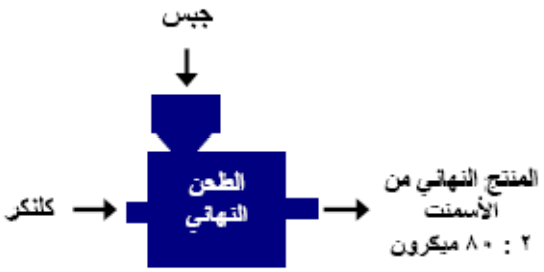
عملية حرق المواد الخام

٤- التبريد (Cooling and grounding of clinker)

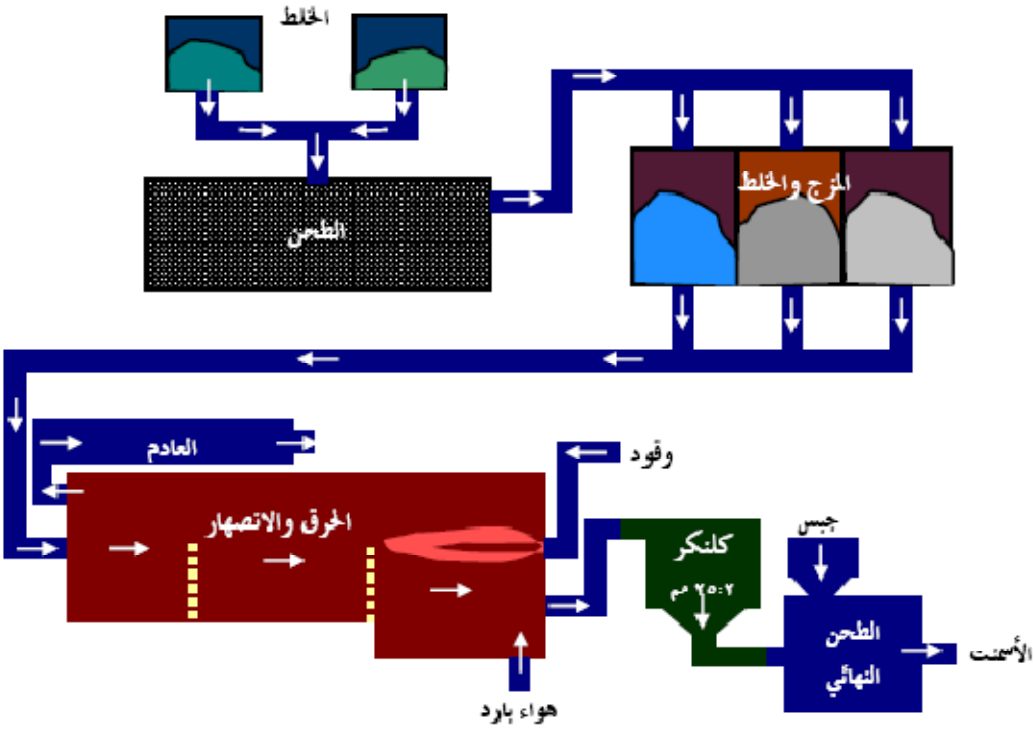
يبرد الكلنكر (يتم تبريدها بسرعة فجائيا وذلك بضخ هواء بارد لمنع تبلور المواد) ثم يضاف اليه نسبه محدده (٥%) من الجبس(كبريتات الكالسيوم) للتحكم في زمن الشك (التصلد) ثم يطحن ناعما ليصير أسمنتا. يعبأ بعد ذلك الأسمنت وينقل للإستهلاك.



مرحلة تكوين الكلنكر



إضافة الجبس للكلنكر وعملية الطحن النهائيه



مراحل صناعة الأسمنت

٤- التركيب الكيميائي للأسمنت (Chemical Composition of Cement)

المكونات الأساسية للأسمنت البورتلاندى تنحصر فى الجير والسيليكات والألومينا وأكاسيد الحديد وعندما تخلط هذه المكونات ويتم عليها عملية الحرق بالأفران ويتكون الكلنكر والذي يحتوي على أربعة مركبات رئيسيه.

الأكـاسيد		الرمز	المحتوى %
أكسيد الكالسيوم	(Lime)	CaO	٦٧-٦٠
ثاني أكسيد السليكون	(Silica)	SiO_2	٢٥-١٧
ثالث أكسيد الألومنيوم	(Alumina)	AL_2O_3	٨-٣
ثالث أكسيد الحديد	(Iron Oxide)	Fe_2O_3	٦-٠,٥
أكسيد الماغنسيوم	(Magnesia)	MgO	٤-٠,١
ثالث أكسيد الكبريت	(Sulfur trioxide)	SO_3	٣-١
القلويات (أكسيد الصوديوم - أكسيد البوتاسيوم)		K_2O -Na_2O	١,٣-٠,٢

١- الحجر الجيري (الجير) (Lime)

وهذا يوضح ان المركبات الرئيسيه للأسمنت هي الحجر الجيري (٣/٢ من وزن الأسمنت)، اذا كانت نسبة الحجر الجيري قليله يؤدي الى اسمنت ضعيف، واذا زادت كمية الجير تسبب في تكوين الكلنكر مبكرا كما انها تسبب في عدم ثبات حجم الأسمنت.

٢- السيليكا والالومنيا (Alumina) & (Silica)
السيليكا تكون حوالي الخمس والالومنيا (٢٠/١) وزيادة نسبة السيليكا مع انخفاض نسبة الالومنيا يعطي اسمنت بطئ الشك عالي المقاومه، ويساعد في مقاومته لاي تأثيرات كيميائيه. ولكن اذا زادت نسبة الالومنيا وقلت نسبة السيليكا فإن الأسمنت يصبح سريع الشك عالي المقاومه.

٣- أكسيد الحديد (Iron Oxide)
يسبب اللون الرمادي للأسمنت.

٤- الماغنسيوم (Magnesia)
وجودها بكميه كبيره يحدث اختلال في تركيب الأسمنت.

٥- القلويات (أكسيد الصوديوم - أكسيد البوتاسيوم)
زيادتها تؤدي التفاعل القلوي مع الأسمنت (Alkali-aggregate reaction) ويجب الاتزيد عن ٠،٦% من وزن الأسمنت.

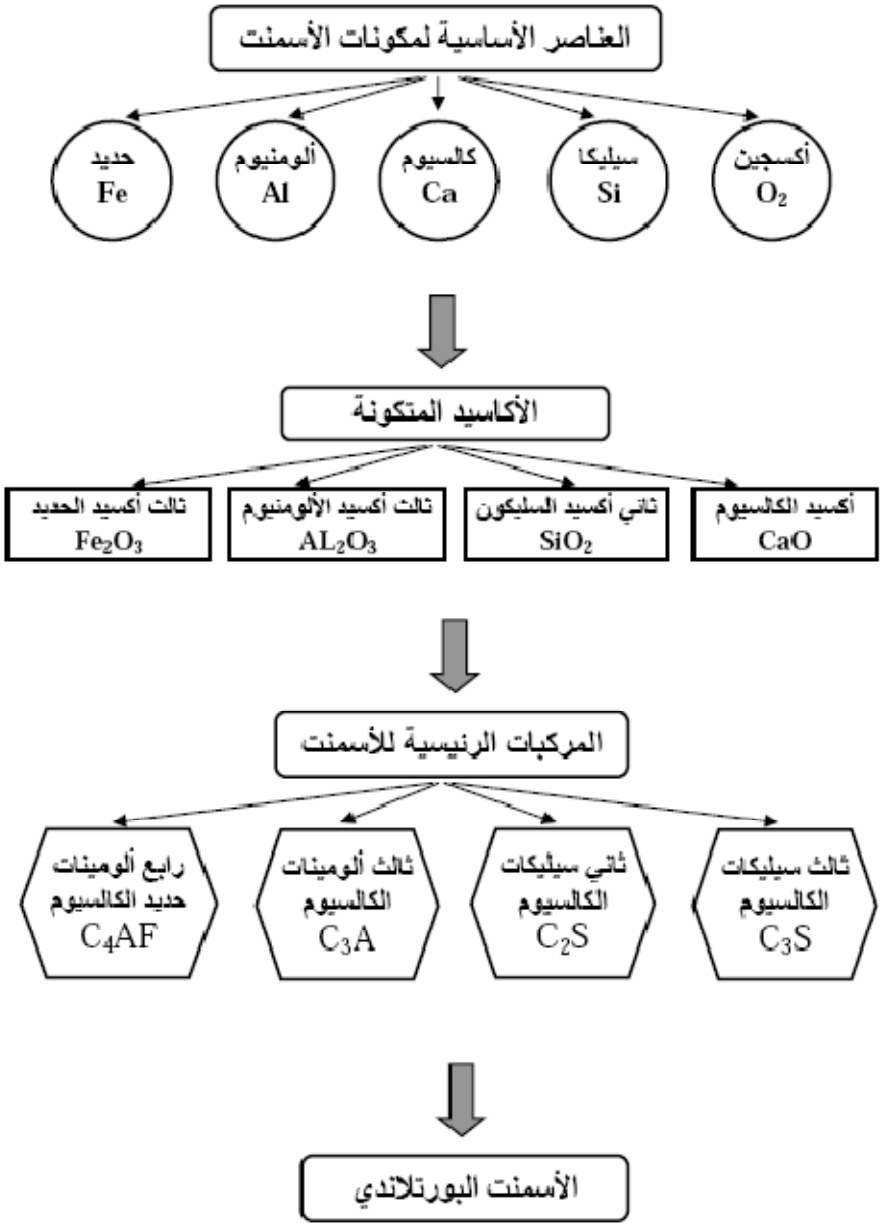
5- المكونات الرئيسيه للأسمنت (Main Compounds of Cement)

وبعد حرق هذه المواد في الفرن الدوار فتنتج المركبات الموضحه بالجدول، وتتحد الأكاسيد داخل الفرن بالصوره التاليه:
١- يتحد أكسيد الحديد كله مع جزء من الالومنيا وجزء من اكسيد الكالسيوم مكونا الومينات حديد رباعي الكالسيوم.
٢- يتحد ماتبقى من الالومنيا مع جزء من اكسيد الكالسيوم مكونا الومينات ثلاثي الكالسيوم.
٣- يتحد اكسيد السيليكون مع جزء من اكسيد الكالسيوم مكونا سيليكات ثنائي الكالسيوم.
٤- يتحد ما تبقى من اكسيد الكالسيوم مع سيليكات ثنائي الكالسيوم مكونا سيليكات ثلاثي الكالسيوم.

اسم المركب	الرمز	الرمز الكيميائي	نسبته في الأسمنت البورتلاندي
Tricalcium Silicate سيليكات ثلاثي الكالسيوم	C_3S	$3Cao.Sio_2$	% ٥٠ -٤٠
Dicalcium Silicate سيليكات ثنائي الكالسيوم	C_2S	$2Cao.Sio_2$	% ٣٠ -٢٠
Tricalcium Aluminate الومينات ثلاثي الكالسيوم	C_3A	$3Cao.Al_2O_3$	% ١١-٩
Tetra Calcium Alumina Ferrite الومينات حديد رباعي الكالسيوم	C_4AF	$4Cao.Al_2O_3.Fe_2O_3$	% ١١-٩

٦- ١ لمكونات الثانويه للأسمنت (Minor Compounds of Cement)

١- قلويات الأسمنت (Alkalis of Cement)
٢- اكسيد الكالسيوم واكسيد الماغنسيوم غير المتحد (Free Lime & Free Magnesia)
٣- المواد الصلبه الغير قابله للذوبان (Insoluble Residue)
٤- نسبة الفاقد بالوزن عند الحريق (Loss on Ignition)



شكل تخطيطي يبين خطوات تكون الأسمنت البورتلاندي

7- تفاعل الأسمنت مع الماء (Hydration of Cement)

يبدأ تفاعل الاسمنت من لحظة اضافة الماء للأسمنت ويحتاج الاسمنت الى:

- ٢٢- ٢٥% من وزنه ماء للإماهه
- ١٥ % من وزنه ماء لتكون العجينه لدنه

اي ان الأسمنت يحتاج من ٣٧- ٤٠% من وزنه ماء، وتحدث عملية الاماهه بحدوث تفاعلات كيميائيه تؤدي الى تماسك الأسمنت.

١- تفاعل السيليكا (C_3S & C_2S)

وهو يلعب الدور الرئيسي في تحديد معدل زيادة المقاومه و تصلد العجينه.

أ- سيليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S)

عند اضافة الماء للأسمنت فإن سيليكات ثلاثي الكالسيوم تتميأ (Hydration) بسرعه وتتسبب في وجود كميه كبيره من الحراره عند التفاعل ويتكون هيدروكسيد الكالسيوم ($Ca(oH)_2$) وسيليكات الكالسيوم الجيلاتيني (C-S-H) وهو المسؤول عن المقاومه في اول ١٤ يوم.

$$2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3(Ca(oH)_2)$$
$$2C_3S + 6H \rightarrow (C\text{-}S\text{-}H)\ gel + 3CH$$

ب- سيليكات ثنائي الكالسيوم (S_2C)

عند اضافة الماء للأسمنت فإن سيليكات ثنائي الكالسيوم تتفاعل مع الماء ببطئ وتتصلعد الحراره ببطئ وهو المسؤول عن ازدياد المقاومه فيما بين ١٤- ٢٨يوم. والاسمنت المحتوي على كميات عاليه من سيليكات ثنائي الكالسيوم له مقاومه كبيره للمؤثرات الكيميائيه والانكماش بالجفاف ولذلك هو من اهم عوامل ثبات الاسمنت.

$$2C_2S + 4H \rightarrow (C\text{-}S\text{-}H)\ gel + 3CH$$

$\underline{C_3S_2H_3}$ → C-S-H gel (Calcium Silicate Hydrate Gel)

سيليكات الكالسيوم المماهه وهو ناتج التفاعل الرئيسي المسؤول على حصول الاسمنت على مقاومه والمؤثر الرئيسي في جميع الخواص ويمثل ٥٠- ٦٠% من حجم الاسمنت المتفاعل وليس لها شكل محدد.

$\underline{Ca(oH)_2}$ → CH (Calcium Hydroxide)

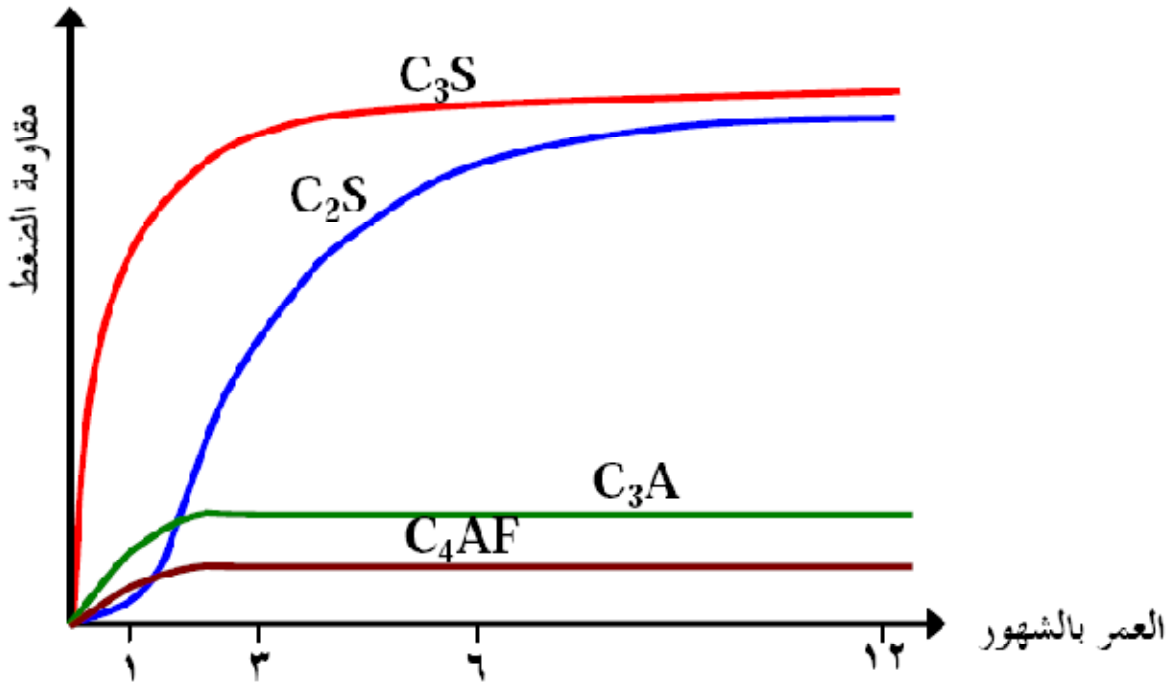
هيدروكسيد الكالسيوم (الجير) لها شكل بلوري (سداسي الشكل) على عكس C-S-H ليس لها شكل محدد، ومشاركتها في مقاومة الاسمنت صغيره جدا. وتواجد CH يعتبر غير مفيد للخرسانه حيث انها تمثل نقطة ضعف وذلك لسهولة تفاعلها مع الاحماض والكبريتات وسهولة ذوبانها. لذلك الاسمنت الذي يحتوي على نسبه كبيره من C_2S يكون مقاوم للكبريتات.

جـ- الومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A)

الومينات ثلاثي الكالسيوم يتميأ بسرعه مع الماء خصوصا في اليوم الأول ويصحب التفاعل تصاعد حراره عاليه ويتسبب عن ذلك التصلد المبدئي للاسمنت ويكون هذا التفاعل لحظيا في حالة عدم إضافة الجبس كماده مبطئه للشك اثناء الصناعه او اضافته بكميه صغيره فيحدث مايسمي بالشك الوميضي (Flash Set).
و الومينات ثلاثي الكالسيوم هو الذي يسبب التصلد الاول. ولكنه لايتدخل كثيرا في قوة الاسمنت ومقاومته ضعيفه للتأثيرات الكيميائيه.

د- الومينات حديد رباعي الكالسيوم (C_4AF)

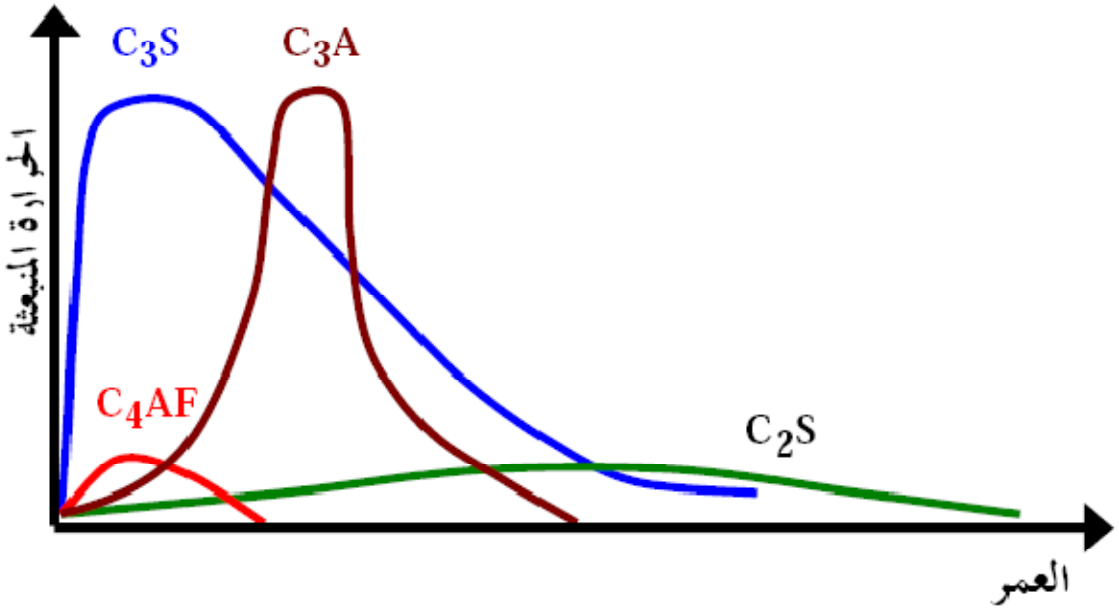
يتفاعل مع الماء سريعا وليس له قيمه ملحوظه كماده لاحمه وليس له تأثير ملحوظ على مقاومة الاسمنت او اي خاصيه من خواص الاسمنت المتصلد وبذلك يعد غير ذات اهميه.



تأثير مركبات الاسمنت على مقاومة الضغط

٦- حرارة الاماهه (Heat of Hydration)

التفاعلات الكيميائيه التي تحدث عندما يشك الاسمنت ويتصلد يصاحبها دائما ارتفاع في درجات الحرارة ففي الاسمنت البورتلاندي العادي يحدث ارتفاع في الحراره يبلغ ١٠°م. وفي الاسمنت سريع التصلد يبلغ ارتفاع درجة الحراره ٤٠°م وفي الاسمنت الالوميني يكون الارتفاع في درجة الحراره حوالي ١٠٠°م.



الحراره المنبعثه اثناء الاماهه من تفاعل مركبات الاسمنت

٧- المعالجه (Curing)

الغرض منها تقليل اثر الحراره المتولده من التفاعل وذلك عن طريق رش الخرسانه بالماء صباحا وعصرا لتفادي التغير في درجات الحراره بدايه من ١٠ ساعات من الصب.

٨- خواص الاسمنت البورتلاندي (Properties of Portland Cement)

١.٨- الوزن النوعي (Specific Gravity)

وتعتمد على التركيب الكيميائي ونعومة الطحن.

٢.٨- نعومة الاسمنت (Fineness)

ويقصد بالنعومه مدى مقاس حبيبات الاسمنت والتي تؤثر على سرعة تفاعل الاماهه. وتقاس بطريقتين:

١- المنخل رقم ١٧٠ (٩٠ ميكرون) ٢- جهاز بللين

المنخل رقم ١٧٠ (٩٠ ميكرون)

جهاز بللين

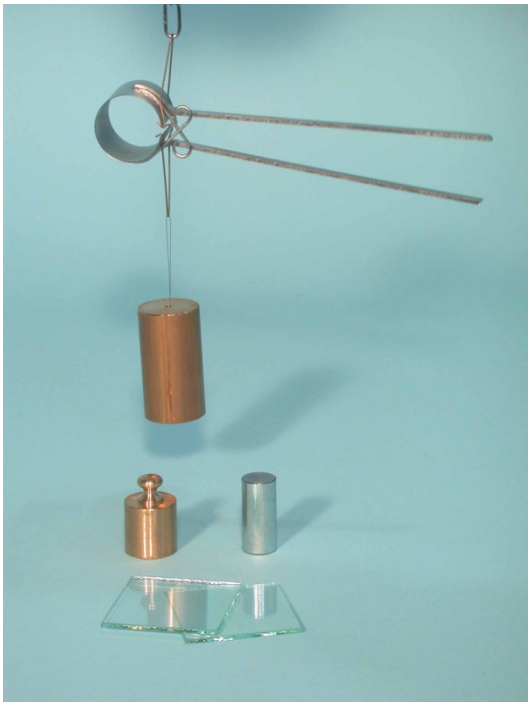
٣.٨- القوام القياسي لعجينة الاسمنت (Consistence of cement paste)

٤.٨- زمن الشك (Setting Time)

الإبر المستخدمه لإجراء الاختبار

جهاز فيكات

٥.٨- الثبات الحجمي (Soundness)

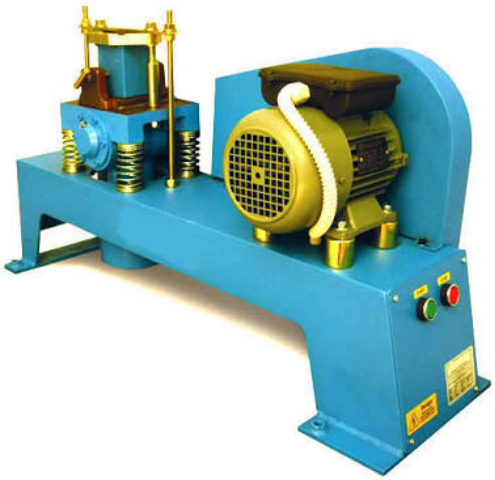


جهاز قياس الثبات الحجمي

٦.٨- مقاومة الاسمنت (Strength of Cement)

١.٦.٨- مقاومة الشد (Tensile Strength)

٢.٦.٨- مقاومة الضغط (Compressive Strength)



هزاز المونه الاسمنيه

قوالب صب المكعبات والكمرات للمونه

٩- الأنواع المختلفه من الاسمنت (Different types of Cement)

١- الأسمنت البورتلاندى سريع التصلد (سوبركريت) (Rapid Hardening Cement)

النوع	التركيب والخواص	الاستخدامات الاساسيه
الأسمنت البورتلاندى سريع التصلد	- لهذا الأسمنت نفس خواص الأسمنت العادي من ناحية زمن الشك ، ولكن له سرعة تصلد عالية (أو مقاومة مبكرة) عن الأسمنت السابق. - يتم الحصول على المقاومة المبكرة بزيادة محتوى سيليكات ثلاثي الكالسيوم (C_3S) الذى قد يصل إلى أكثر من ٧٠% ، وبازدياد النعومه والتى لا يجب أن تقل عن ٣٢٥ م^2/ كجم. - لا تختلف متطلبات ثبات الحجم و التركيب الكيميائي عن متطلبات الأسمنت البورتلاندي العادي.	١- يستخدم فى حالة طلب نمو سريع لمقاومة الخرسانة مثل عند ضرورة إزالة الفرم بسرعة لإعادة الاستخدام، أو عندما تلزم المقاومة المبكرة لاستمرارية وسرعة التنفيذ. ٢- قد تكون زيادة تكلفة هذا الأسمنت مع سرعة إزالة الفرم اقتصاديا (الخرسانات الجاهزه). ٣- يفيد هذا الأسمنت نظرا لزيادة حرارة اماهته فى المناطق الباردة. ٤- لايستخدم في الخرسانات الكتليه.

٢- الأسمنت البورتلاندى المقاوم للكبريتات (Sulphate Resistance Cement)

النوع	التركيب والخواص	الاستخدامات الاساسيه
الأسمنت البورتلاندى المقاوم للكبريتات	- زياده في نسبة سيليكات ثنائي الكالسيوم (C_2S) تزيد من مقاومته للكبريتات. - يستخدم فى هذا الأسمنت محتوى منخفض من الومينات ثلاثي الكالسيوم (C_3A) بحيث لا يتعدى ٣.٥%، ولذلك يكون بطئ التصلد ودرجة حرارة الاماهه منخفضه.	١- يستخدم هذا النوع من الأسمنت عند تعريض الخرسانة إلى أملاح الكبريتات فى التربة أو المياه الجوفية. ٢- في المنشآت البحريه

3- الأسمنت البورتلاندي منخفض الحراره (Low Heat Portland Cement)

النوع	التركيب والخواص	الاستخدامات الاساسيه
الأسمنت البورتلاندي منخفض الحراره	- كلما انخفضت محتويات C_3A -C_3S فى الأسمنت كلما تسببت ذلك فى نمو مقاومة بطيئه للأسمنت (يحصل على مقاومته بعد مده طويله). منخفض الحراره بالمقارنه بالأسمنت البورتلاندى العادي إلا أن المقاومه القصوى لهما لن تختلف.	١- يستخدم هذا النوع من الأسمنت في الخرسانه الكتليه والتى قد تؤدى إلى شروخ خطيرة وخصوصًا لخرسانة السدود الكبيرة. ٢- خرسانات السدود، ولايفضل استخدامه في خرسانة المنشآت العاديه.

٤- الأسمنت البورتلاندي الحديدي (Portland Plast Furnace)

النوع	التركيب والخواص	الاستخدامات الاساسيه
الأسمنت البورتلاندي الحديدي	- فكرته اقتصاديه من اضافة خبث الحديد الى الاسمنت لتزيد صلابته. - ينتج هذا الأسمنت بواسطة الطحن المشترك لكلنكر الأسمنت البورتلاندى مع خبث الأفران العاليه المحبب بحيث لا يزيد محتوى خبث الأفران عن ٦٥ % وفي مصر يضاف ٣٥% فقط، ثم يضاف الجبس إلى الخليط للتحكم فى زمن شك الأسمنت. - درجة حرارة هذا الأسمنت منخفضه عن الأسمنت العادي ولذلك يمكن اعتباره أسمنتًا منخفض الحراره ويستخدم فى الخرسانة الكتليه. - رخيص الثمن. - ذو مقاومه عاليه للكبريتات والاملاح. - بطئ التصلب حيث يحصل على مقاومته بعد ٩٠ يوم. - يتطلب إنتاجه طاقة أقل.	١- لا يستخدم فى الأجواء البارده. ٢- يستخدم فى مقاومة ماء البحر. ٣- يستخدم في اعمال البياض والمباني.

٥- الأسمنت الابيض (white Cement)

النوع	التركيب والخواص	الاستخدامات الاساسيه
الأسمنت الابيض	- يصنع من حجر جيري نقي جدا (كالسيت) وطين ابيض (كاولينا) ويحرق بوقود خالي من كبريتوز الحديد. - تصل تكاليف انتاجه ٤ اضعاف الاسمنت العادي. - له نفس خواص الاسمنت البورتلاندي العادي.	١- يستخدم لأعمال الديكور. ٢- البياض الخارجي. ٣- تركيب السيراميك والبورسلين.

٦- الأسمنت الملون (Colored Cement)

هو اسمنت عادي او اسمنت ابيض ولكن يضاف اليه الوان من الاكاسيد لاتزيد نسبة اضافتها عن ١٠% لأنها تؤثر على مقاومة الاسمنت، كما ان الاكاسيد تختار على انها لاتتفاعل مع الاسمنت ولاتهاجم حديد التسليح، ويستخدم في الديكور.

٧- الأسمنت المخلوط (Mixed Cement)

الهدف منه اقتصادي ولزيادة الانتاج، يضاف اليه الجير الناعم او الرمل الناعم ومثال له في مصر (اسمنت الكرنك) ويضاف اليه الاسمنت الناعم بنسبة ٢٥%. ولايستخدم في اعمال الخرسانه المسلحه لأنه ضعيف ولكن يستخدم اعمال البياض والمباني.