صناعة السمنت Cement Industry:-

لقد اهتدى الانسان الى استعمال صخور بركانية هامدة كمواد بنائية منذ زمن طويل وقديم، وان هذه الصخور بعد تجفيفها وطحنها تشبه خلطة السمنت الحديثة الى حد ما في امكانية استعمالها كمادة بنائية، وان محاولة مجاراة العمليات البركانية الطبيعية هي بحد ذاتها طورت اكتشاف طريقة تحضير السمنت المعروف في الوقت الحاضر. ففي عام ١٨٢٤م حضر احد الباحثين الانكليز المدعو اسبدن Aspdin خلطة مادة بنائية تشبه في خواصها صخور بركانية تستعمل للبناء (بعد طحنها ومزجها بالماء) وكانت تستحصل من منطقة بورتلاند Portland في انكلترا وبهذا تم اختيار اسم "سمنت البورتلاند" على الخلطة التي حضرها اسبدن. وفيما بعد عرف انكليزي اخر اسمه اسحق جونسون الكثير من كيمياء السمنت وكان اول من ادخل استعمال مادة الجيبسوم وهي مادة كبريتات الكالسيوم المائية ($CaSO_4 \cdot 2\ H_2O$)، Gypsum واستعملها للسيطرة على سرعة تصلب السمنت ومنع ظاهرة التشقق اثناء التصلب.

انواع السمنت Types of Cement:-

ينتج السمنت بعدة انواع وبما يلائم الاستعمالات المختلفة وذلك عن طريق تغير نسب المكونات الاساسية المكونة للسمنت. ومن اهم هذه الانواع هي:-

١. سمنت البورتلاند Portland Cement:-

يتكون هذا النوع من السمنت اساساً من سيليكات الكالسيوم التي بدورها تتكون من اتحاد اوكسيدي السيليكون SiO_2 والكالسيوم CaO ويحوي احياناً اضافات اخرى (اكاسيد اخرى) وتضاف مادة الجيبسوم الى خلطة الاكاسيد هذه ويطحن الخليط ويعبأ في الاكياس. ويكون هذا السمنت على انواع منها:-

أ. سمنت بورتلاند اعتيادي:-

يستعمـل هذا النوع في الابنيـة الاعتياديـــة ويوجد نوع منه يسمى بالسمنت الابيض

الذي يحوي نسبة اقل من اوكسيد الحديديك Fe_2O_3 ويستخدم لاغراض معينة. ويعطي الغرام الواحد منها حرارة تعادل (80-90) Cal. وذلك بعد (7-28) days يوم.

ب. السمنت ذو حرارة تصلب واطئة **Low Heat of Setting**:-

يحتوي على نسبة عالية من المكونات ذات حرارة التصلب الواطئة أي التي ينبعث منها حرارة قليلة عند مزجها بالماء (الغرام الواحد منها يعطي حرارة تعادل (60-70) Cal. ان هذا النوع من السمنت يتطلب وقت طويل لاكتمال تصلبه، الا انه يكون خالياً نسبياً من التشققات ويوفر ضمانة اكبر في المقاومة الطويلة.

جـ. سمنت ذو حرارة تصلب معتدلة **Moderate Heat of Setting**:-

حيث يعطي الغرام الواحد منها حرارة تعادل (70-80) Cal. ولهذا النوع صفة مقاومة للكبريتات، ويستعمل لانشاء الابنية العادية وغيرها في المناطق ذات الطبيعة الجيلوجية التي تكثر فيها الكبريتات.

د. سمنت ذو حرارة تصلب مرتفعة (سمنت ذو تصلب ومتانة مبكرة):-

يعطي الغرام الواحد منها حرارة تعادل(100 Cal.) حيث ان هذا النوع يعطي حرارة كبيرة ويكسب القوة والصلابة بسرعة. تكون في هذا النوع نسبة اوكسيد الكالسيوم الى اوكسيد السليكون اعلى مما هي عليه في النوعين اعلاه، كما ان هناك فروق تركيبية اخرى تضفي عليه صفة التصلب السريع وذلك يتمثل بزيادة نسبة الومينات الكالسيوم ($CaO.Al_2O_3$). يمتاز هذا السمنت بانه سريع التصلب لذا يستعمل في الحالات التي تحتاج الى تصلب سريع للسمنت مثل بناء الطرق ومدارج الطائرات.

هـ. سمنت مقاوم للكبريتات **Sulfate Resisting Cement**:-

يقاوم هذا النوع من السمنت التكوينات الجيولوجية الكبريتية بدرجة اعلى من أي من الانواع التي سبقت، ويحوي هذا السمنت من الناحية التركيبية نسبة اوطأ من المكون المعروف باسم الومينات ثلاثي الكالسيوم ($3CaO–Al_2O_3–C_3A$) Tri Calcium Aluminate الا انه يحوي نسبة اعلى من المكون المعروف باسم الومينو فيرات رباعي الكالسيوم وهي مادة تتكون من اتحاد اكاسيد الكالسيوم والالمنيوم والحديد.

.Tera Calcium Alumino Ferrite ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$)

٢. سمنت عالي الالومينا:-

يحضر هذا النوع من السمنت من الاندماج الحراري لمادتي اللايمنون $CaCO_3$ والبوكسايت (يتكون من اوكسيدي الالمنيوم والحديد).

$$\text{سمنت عالي محتوى الالومينا} \xleftarrow[\text{اندماج حراري}]{\Delta} \begin{matrix} Al_2O_3 \\ + \\ Fe_2O_3 \end{matrix} + CaCO_3$$

ويحتوي ايضاً على نسب قليلة من اكاسيد SiO_2 و MgO و Fe_2O3 ومن اهم خواصه العملية هو مقاومة ماء البحر والتصلب السريع.

٣. سمنت مقاوم للتاكل:-

يحضر هذا النوع من السمنت باضافة نسب معينة من مواد كيمياوية خاصة مثل الفينولات Phenols والسيليكات والكبريت الى سمنت البورتلاند وبذلك نضفي عليه صفة مقاومة التاكل لفعل المواد الكيمياوية والعوارض الجوية، ويستعمل هذا السمنت في بناء المفاعلات الكيمياوية وخزانات المواد الكيمياوية والمداخن في المعامل والارضيات والمناضد المختبرية.

المواد الاولية المستعملة في صناعة السمنت:-

يطلق اسم (او تعبير) الكلنكر (Clinker) على مادة السمنت الناتجة من الاندماج الحراري للاكاسيد المختلفة بعد تفكك وتفاعل المواد الاولية وفقدانها للماء وغازات اخرى وقبل اضافة مادة الجبسيوم (حيث ان الكلنكر هو سمنت ناقصاً الجبسيوم فقط). وادناه المكونات الاساسية للكلنكر والصفات الحرارية عند الامتزاج مع الماء لهذه المكونات.

"جدول بمكونات الكلنكر"

اسم المادة او المكون **Name**	**الصيغة الكيمياوية Formula**	المختصر	الحرارة الناتجة عن الاندماج مع الماء **Cal/gm**
١. سيليكات ثنائي الكالسيوم (Di Calcium Silicate)	$2\ CaO.SiO_2$	C_2S	44
٢. سيليكات ثلاثي الكالسيوم (Tri Calcium Silicate)	$3\ CaO.SiO_2$	C_3S	114
٣. الومينات ثلاثي الكالسيوم (Tri Calcium Aluminate)	$3\ CaO.Al_2O_3$	C_3A	202
٤. الومينو فيرات رباعي الكالسيوم (Tera Calcium Alumino Ferrite)	$4\ CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF	48
٥. اوكسيد المغنيسيوم (Meagnesium oxide)	MgO	MgO	-

الأستاذ عبد الحق خلف حسين

انتاج السمنت **Cement Production**:-

تستعمل المواد الاولية الاتية في انتاج السمنت وحسب توفرها:-

١. مادة اللايمستون (Limestone) $CaCO_3$.

٢. صخور بركانية تعرف باسم صخور السمنت (Cement Rock) ان توفرت.

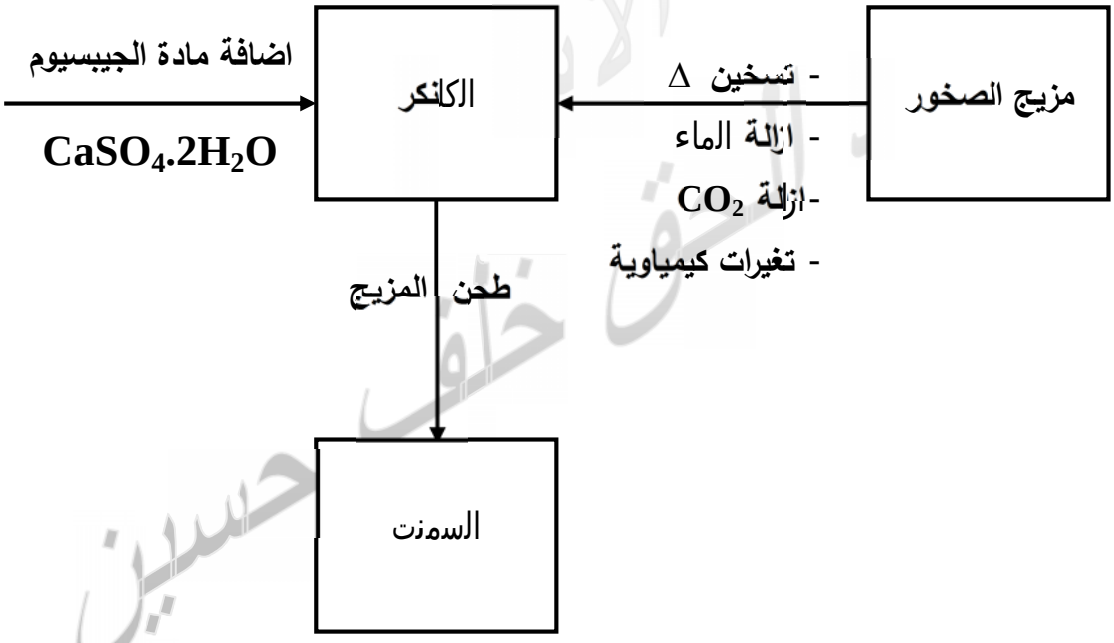
٣. اطيان (Clays):- تعد كمصدر للالومينا Al_2O_3.

٤. الرمل (Sand):- يعد كمصدر للسيليكا SiO_2.

٥. قشور كلسية (Shale) ان توفرت:- تعد كمصدر للايم CaO.

٦. مـادة الجيبـسيوم:- كبريتـات الكالـسيوم المائيـة $CaSO_4.2H_2O$ (العامـل المهـدئ والمسيطر على حرارة التصلب).

تمزج هذه المواد (او قسم منها حسب توفره وبما يؤمن احتواء خلطة السمنت الناتجة على كافة الاكاسيد المطلوبة) بنسب معينة اعتماداً على نتائج المختبر في التحليل الكيمياوي، ثم تسحق وتسخن في فرن خاص وتسمى المادة الناتجة الكلنكر ولكي يتحول الكلنكر الى سمنت نهائي تضاف مادة الجبسيوم اليه وبالقدر المحسوب، ثم يطحن المزيج الى النعومة المطلوبة.



مخطط صناعة السمنت.

يصنع السمنت اعتيادياً من خلط المواد الاولية التي تم ذكرها سابقاً وبالنسب المطلوبة بوجود الماء او عدمه بعد سحقها وتنعيمها، حيث ان عملية الخلط تعتبر غاية في الاهمية لان التفاعلات تجري بين المواد بالحالة الصلبة، لذا يجب ان يكون خليط المواد الاولية متجانساً. تحرق بعد ذلك هذه المواد المخلوطة وذلك باستعمال افران متخصصة وطويلة ومبطنة بطابوق مقاوم للانصهار ومقاوم للتفاعلات. درجة حرارة الفرن (يسمى بالفرن الدوار kiln) تتدرج داخل الفرن من (100 °C) في مدخله ولغاية (1280 °C) في نهايته، حيث

ان الناتج من هذه الافران يخرج على شكل كرات صغيرة تدعى بـ (الكلنكر). يجري تبريد هذا الناتج (الكلنكر) ثم سحقها وخلطها مع الجيبسيوم وتعبئة الناتج كسمنت. ويبين الجدول ادناه مراحل التغيرات الكيمياوية والفيزياوية للمواد الاولية الداخلة في تصنيع السمنت اثناء عملية تسخين واندماج هذه المواد في الفرن الدوار (Kiln) اعتماداً على التدرج الحراري:-

درجة الحرارة (°C)	التفاعل او التغير الحاصل Reaction	الصفة الحرارية ماص للحرارة او باعث للحرارة Endo or Exo thermic
100	تبخير الماء (الرطوبة) (الماء الحر)	ماص للحرارة (يستهلك حرارة)
500	ازالة الماء المتحد (الداخل في التركيب) من الصخور	ماص للحرارة
900	تحرر غاز ثاني اوكسيد الكاربون CO_2 من الصخور (تحلل وتكسر $CaCO_3$)	ماص للحرارة
900 – 1200	التفاعل بين الطين واوكسيد الكالسيوم CaO	باعث للحرارة (يعطي حرارة)
1250 – 1280	بداية انصهار الصخور	ماص للحرارة
1280 ⟶	استمرار واكتمال انصهار الصخور والتفاعلات	ماص للحرارة

طرق انتاج السمنت:-

هناك طريقتان لانتاج السمنت هما:-

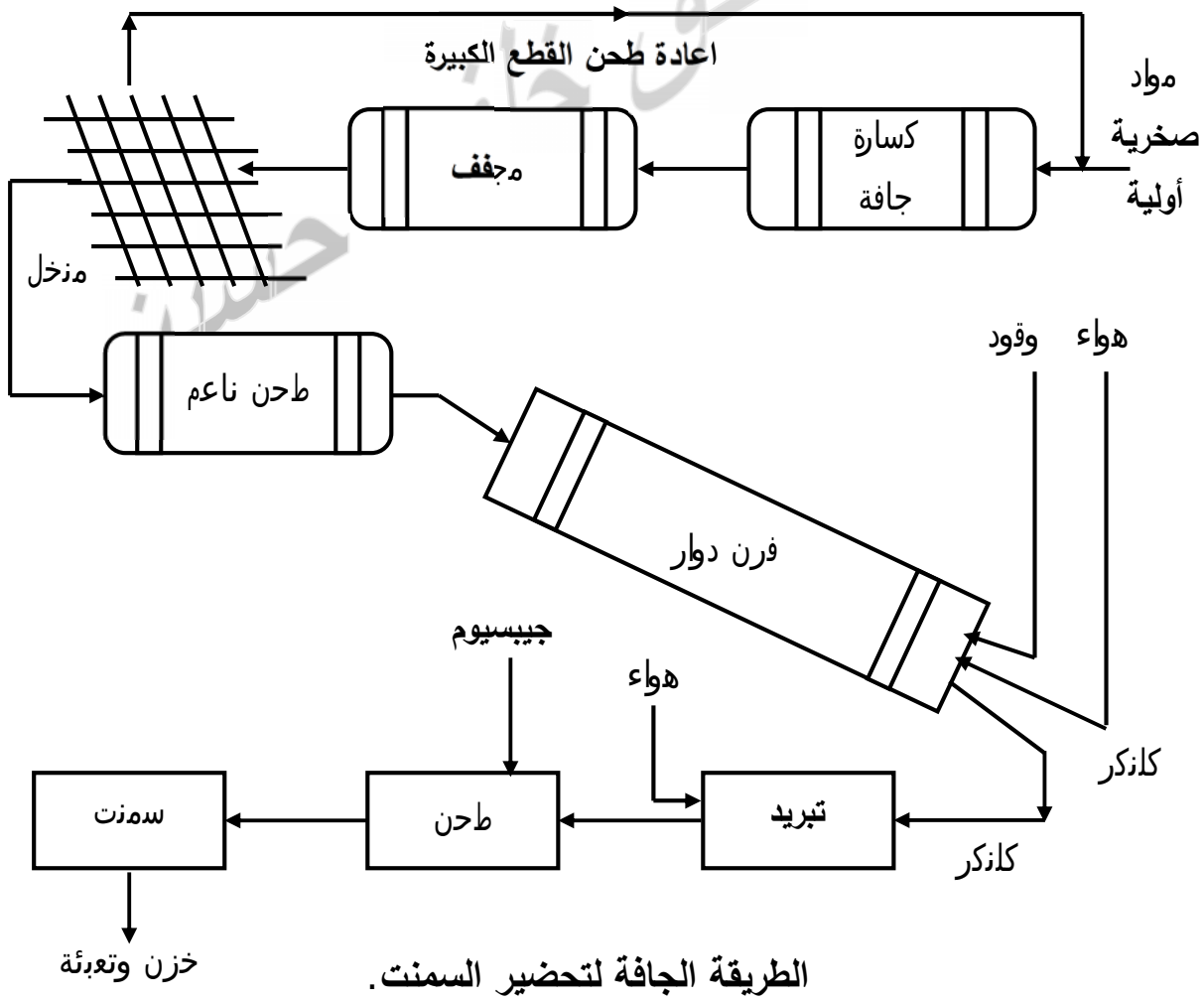
١. الطريقة الرطبة Wet Process:-

٢. الطريقة الجافة Dry Process:-

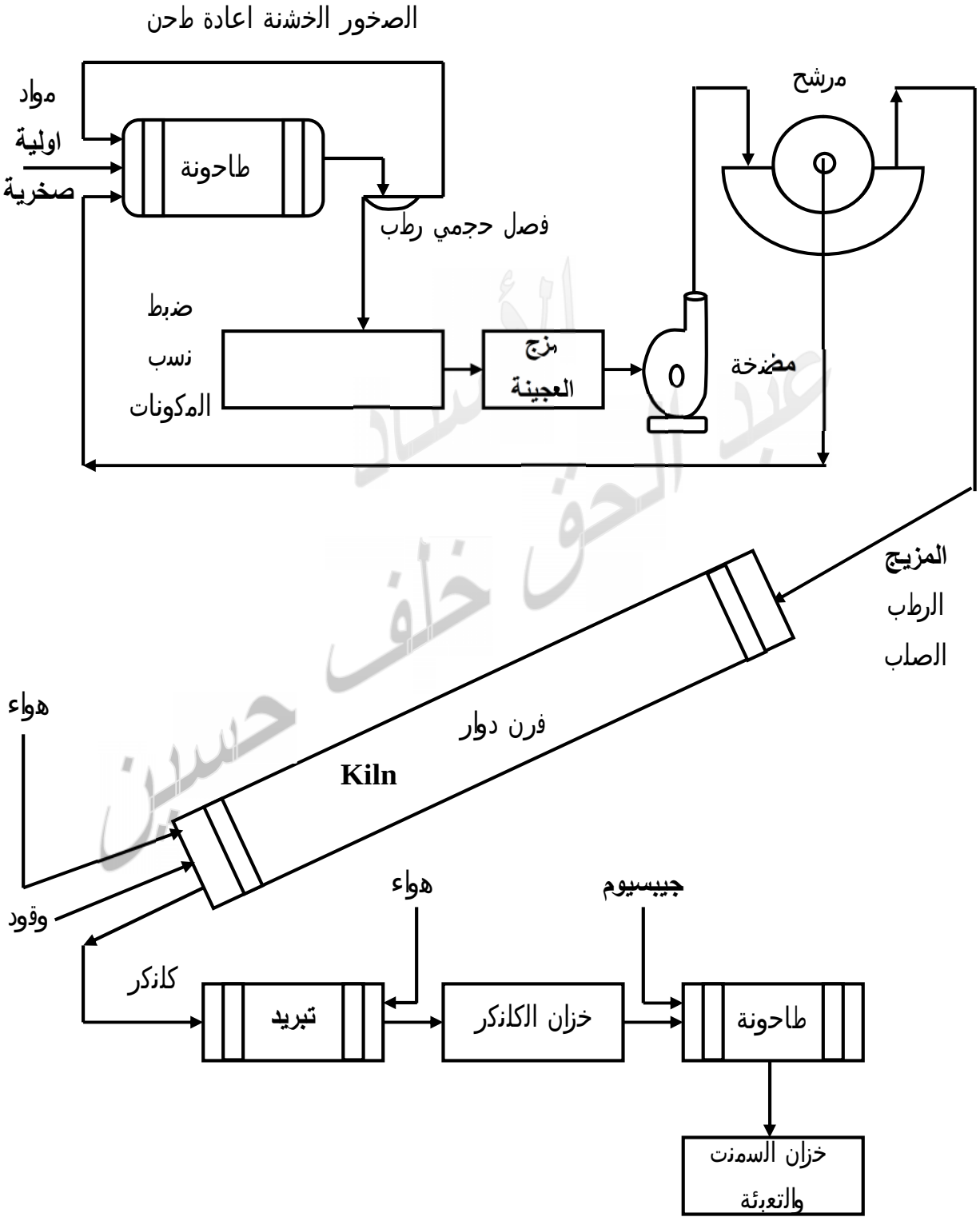
تتمثل الفروق الاساسية بين الطريقتين في ان سحق الصخور المكونة للمادة الاولية لتصنيع السمنت يتم بوجود الماء في الطريقة الاولى، كما ان الفصل الحجمي وضبط نسب المكونات يتم في الوسط المائي واما في الطريقة الثانية (الجافة) فان طحن الصخور يتم في حالتها الطبيعية ويتم الفصل الحجمي بواسطة مناخل خاصة (Sieves). تكون متطلبات

الطاقة في الطريقة الاولى اعلى مما هي في الثانية بسبب احتواء الصخور المطحونة على محتوى عالي من الماء نسبياً. بينما تؤدي الطريقة الثانية الى احتمالات عالية للتلوث بالغبار اضافة الى الضوضاء العالية والصيانة الدورية المستمرة للطواحين.

يتراوح طول الفرن الدوار في الطريقة الرطبة بين (٣٠٠-٥٠٠) قدم بينما يكون حوالي (١٥٠) قدم في الطريقة الجافة وذلك بسبب احتواء مطحون الصخور على نسبة عالية من الماء في الطريقة الرطبة. اما قطر الفرن فيتراوح بين (٨-١٥) قدم في كلتا الطريقتين كما ان هناك تشابه بين الطريقتين في سرعة دوران الفرن وفي فترة بقاء الصخور في الفرن، حيث تكون سرعة الدوران من (١/٢-٢) دورة في الدقيقة (r.p.m.) وفترة البقاء من (٢-٣) ساعة. ونبين ادناه مخططات توضيحية للطريقتين:-



الطريقة الجافة لتحضير السمنت.



الطريقة الرطبة لتحضير السمنت.

تصلب السمنت:-

ان عملية تصلب السمنت عند اضافة الماء اليه هي عملية تحلل مائي (عملية اماهة) وان نواتج هذه العملية تكون عديمة الذوبان في الماء.

المركب (C_3A) يعطي حرارة اكثر عند الاماهة ويليه المركب (C_3S) ثم المركب (C_4AF) والمركب (C_2S). ويمكن ترتيب ذلك بالشكل التالي:-

كمية الحرارة المنبعثة	C_2S	< C_4AF	< C_3S	< C_3A
سعرة / غم	44	48	114	202

وعلى هذا الاساس فان السمنت الغني نسبياً بالمكونين C_3A و C_3S يعرف بانه سمنت عالي حرارة التصلب High Heat of Setting بينما يكون السمنت الغني بالمكونين C_4AF و C_2S واطئ حرارة التصلب. حيث يكون المركب (C_3A) يكون مسؤولاً عن التصلب الاولي (السريع) اما المركب (C_3S) فيكون مسؤولا عن اعطاء القوة خلال فترة اسبوع تقريباً. اما المركب (C_2S) فتكون مسؤولة عن اعطاء القوة النهائية بعد سنة واحدة.

يضاف الجيبسيوم ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) عادة في حالة ارتفاع نسبة (C_3A) في خلطة السمنت وتعتمد الكمية المضافة على نسبة هذه المادة (C_3A) حيث ان للجيبسيوم فعلاً مهدئاً للحرارة الناتجة من امتزاج C_3A مع الماء بفعل تكوينه للمعقد المؤقت ($C_3A.3CaSO_4.31H_2O$) وان هذا المعقد يعطي حرارة اقل بكثير من الحرارة الناتجة من تفاعل الهدرتة (التميؤ) في المعادلة:-

$$C_3A + 6\,H_2O \longrightarrow C_3A.6H_2O$$

وهناك تعليل اخر لدور الجيبسيوم في السيطرة على حرارة هدرتة C_3A تتمثل في تكوين المركب الهادئ المستقر C_4A ($4CaO.Al_2O_3$) او:-

$$C_3A + CaSO_4 \longrightarrow C_4A + SO_3$$

وفي كلا التفسيرين اعلاه سيقل تركيز C_3A وبذلك ستقل كمية الحرارة المنبعثة من امتزاجه مع الماء وبما يوفر تصلباً هادئاً وبطيئاً نسبياً للسمنت وبذلك تقل احتمالات التشقق.

اهم الفحوصات التي تجرى **على السمنت لتحديد جودته**: -

١. فحص درجة النعومة (حجم الجسيمات).
٢. فحص التصلب الاولي.
٣. فحص التصلب النهائي.
٤. فحص وجود CaO الحر.
٥. فحص قوة الشد.
٦. فحص نسبة الاكاسيد المختلفة كيمياوياً.

الأستاذ عبد الحق خلف حسين

صناعة الجص Wall Plaster:-

ان كلمة الجص او هذه التسمية اشتقت من كلمة (الجيبسيوم) والجص هو مادة الجيبسيوم المزال منها الماء جزئياً او كلياً حيث من المعروف ان تسخين الجيبسيوم يزيل منه ماء التبلور كما ياتي:-

$$CaSO_4.2H_2O \xrightarrow{\Delta} CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + 1\frac{1}{2}H_2O \qquad \text{--------- (1)}$$

$$(120-150)\ ^\circ C$$

$$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O \xrightarrow{\Delta} CaSO_4 + \frac{1}{2}H_2O \qquad \text{--------- (2)}$$

$$120\ ^\circ C$$

في المعادلة الاولى تكون الازالة جزئية للماء بينما تكون في المعادلة الثانية ازالة كلية للماء وتسمى المادة العارية عن الماء ($CaSO_4$) بانهدريد كبريتات الكالسيوم.

يتم في عملية تحضير الجص عادة (التي تجري في افران سعة ١٠ الى ٢٥ طن وتسخن بحرق وقود ملائم) الحصول على مزيج من المعادلتين (١) و (٢) وعند اضافة الماء الى هذا المزيج يتصلب الجص ويعود الى شكله الاصلي.

$$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + 1\frac{1}{2}H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O \qquad \text{--------- (3)}$$

الجيبسيوم الاصلي

$$CaSO_4 + 2\,H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O \qquad \text{--------- (4)}$$

ان معظم الجص التجاري يصنع بشكل المعادلة (١) بدرجة رئيسية وعند مزجه مع الماء يتصلب بالشكل المرغوب. ويكون تفاعل التميؤ باعثاً للحرارة بدرجة معتدلة أي ان:-

$$CaSO_4.\frac{1}{2}H_2O + 1\frac{1}{2}H_2O \longrightarrow CaSO_4.2H_2O \qquad \Delta H = 3800\ Cal.$$