حجر الكلس النقي في الإسمنت

اعداد المهندس: علي بلاوالي

تاريخ: 2018-06-25

Web: www.bulawali.com
Email: bulawali@gmail.com

حجر الكلس مادة رئيسية تستخدم في معامل الاسمنت سواء في انتاج الكلنكر و المنتج النهائي الاسمنت بنسب مختلفة حيث لها دور مهم في تقليل كلف الانتاج بالاضافة الى الفوائد البيئية لكونها تستبدل بالكلنكر الاكثر تكلفة و استهلاكا للطاقة في انتاج الاسمنت و كذلك تؤدي الى تحسين بعض خصائص الاسمنت المنتج.

المقدمة Introduction

حجارة الكلس تستخدم في انتاج الكلنكر بمعامل الإسمنت، حوالي (85%) من المواد الاولية الضرورية لانتاج الكلنكر تتكون من حجر الكلس و تكون في الغالب قليلة التكلفة و في القرب من معمل الاسمنت ، و منذ مدة ليست بالقصيرة تتم اضافة حجر الكلس النقي الى الكلنكر في انتاج الإسمنت البورتلاندي العادي (OPC) و بنسبة تصل حوالي (5%) بالاضافة الى استخداماتها كمادة رئيسية في انتاج الكلنكر **[8],[7],[2],[1].** و في انواع اخرى من الإسمنت تندرج ضمن انواع الإسمنت المخلوط (Blended Cements) تسمى كذلك بالاسمنت المركب (Composite Cement) **[7],[6],[3],[2]** حيث تتم إضافة حجر الكلس النقي بنسب حوالي من (6%) الى (35%) لانتاج إسمنت وتسمى (PLC) مختصر (Portland Limestone Cement) **[6],[5],[1].**

تاريخ حجر الكلس في الإسمنت

History of Limestone in Cement

تم تبني استخدام حجر الكلس النقي في انتاج الإسمنت (OPC) و (PLC) على مراحل تاريخية منها:

Bulawali.com

- سنة 1967 تم اضافة حجر الكلس الى الإسمنت لاستخدامات خاصة في المانيا.
- سنة 1979 تم الموافقة حسب المواصفات الفرنسية في استخدام حجر الكلس النقي في الإسمنت.
- سنة 1983 وافقت المواصفات الكندية (CSA A5) بأستخدام حجر الكلس في الإسمنت البوتلاندي حتى نسبة (5 %).
- سنة 1990 كان يتم استخدام حجر الكلس بصورة روتينية من (5 %) الى (15 %) في المانيا.
- سنة 1992 المواصفات البريطانية (UK specs) وافقت على استخدام حجر الكلس حتى (20 %) في انتاج إسمنت من نوع (PLC).
- سنة 2000 تم السماح حسب المواصفة الاوروبية (EN 197-1) باستخدام (5 %) (MAC) **[احدى انواع حجر الكلس]** في كافة الانواع 27 من الإسمنت في المواصفة.
- سنة 2000 تم اضافة نوعي إسمنت (PLC) الى المواصفة الاوروبية (EN 197-1) CEM II/A-L (6-20%) and CEM II/B-L (21-35%)
- سنة 2004 تم السماح بأستخدام حجر الكلس حتى (5 %) في انتاج الإسمنت البورتلاندي (OPC) حسب المواصفة ASTM C150 الغنية عن التعريف.
- سنة 2006 تم تعديل المواصفة الكندية (CSA) لاستخدام حجر الكلس بنسبة (5 %) في انواع اخرى من انواع الإسمنت في المواصفة.
- سنة 2007 قبلت هيئة ادارة الطرق السريعة في الولايات المتحدة (AASHTO) علما انها هيئة متعددة المهام بأستخدام حجر الكلس بنسبة (5 %) للمواصفة (ASTM C150).
- سنة 2008 تم اضافة مواصفة انتاج اسمنت (PLC) الى المواصفات الكندية (CSA A3001) بحيث يمكن اضافة حجر الكلس من نسبة (5 %) الى (15 %).

انتاج الإسمنت في الطواحين
Cement Production in Mills

يتم انتاج الإسمنت البورتلاندي العادي (OPC) في معمل الإسمنت من خلط الكلنكر المنتج بنسبة حوالي (96 %) مع حجر الجبس (Gypsum) المكسر بنسبة حوالي (4 %) في طواحين الإسمنت و تكون الطاحونة في الغالب دائرة مغلقة (Closed Circuit) حيث تحتوي على الفاصلة (Separator) و يتم فصل المواد المطوحنة الناعمة حسب المواصفات المطلوبة كمنتوج **(إسمنت)** و اعادة الباقي الى المنظومة لطحنها بصورة افضل، يخزن الإسمنت المنتج في صوامع قبل ان تنقل الى مرحلة التعبئة.

تتم اضافة حجر الكلس النقي الى الطواحين من نفس مقلع معمل الإسمنت و الذي يتم تكسيره تحضيرا لإضافته الى الكلنكر في طواحين الإسمنت و بنسب متفاوتة سواءا في انتاج إسمنت (OPC) او (PLC) كذلك يستخدم خبث المعدن من معامل الصلب و الحجر البوزلاني و الرماد المتطاير والكثير من المواد الاخرى في انتاج الانواع المختلفة من الإسمنت المركب (Composite Cement)، كل هذه الاضافات من المواد المختلفة الى طاحونة الإسمنت تسمى بالتكميلية (Supplementary) حيث تتم استبدالها من نسبة الكلنكر الداخلة الى طاحونة الإسمنت.

Bulawali.com

نعومة و توزيع احجام ذرات الإسمنت

Fineness & Particle Size Distribution of Cement

حجر الكلس النقي اسهل في الطحن من الكلنكر في طاحونة الإسمنت و لذلك تميل الى التمركز في المقطع الناعم من الإسمنت المنتج (من 5 الى 20 µm)، بشكل عام الفاصلات (Separators) لمنظومات الطحن الحديثة تنتج اسمنت تنحصر احجام ذراتها في مقطع ضيق بالمقارنة مع المنظومات القديمة، لذلك و لاختلاف قابلية الطحن بين الكلنكر و حجر الكلس ترتفع مقدار النعومة (Blaine) و المتبقي (Residue) للاسمنت المنتج و بنسب متفاوته تعتمد على نسبة حجر الكلس المضافة و قابلية الطحن للمواد المطحونة كافة و تؤدي الى عدم القدرة على الاستخدام الامثل للاسمنت المنتج [1] وقد تعزز في نفس الوقت من خصائص اخرى للاسمنت المنتج.

عند الطحن المنفصل لحجر الكلس النقي و الكلنكر مع الجبس و خلطهما في ما بعد يمكن الحصول على اسمنت يكون توزيع ذراتها بصورة متناسقة و لكنها عملية صعبة و مكلفة تجاريا و متباينة التأثير بشكل عام على المنتج.

قوة الانضغاط و التصلب (الاولي ، النهائي)

Compressive Strength and (initial , Final) Setting to Cement

كمية حجر الكلس النقي مع مقدار النعومة و المتبقي تحدد قوة و تصلب للاسمنت المنتج (بثبات جودة الكلنكر)، نسبة الاضافة من 5 % الى 10 % قد تقلل ولو بصورة طفيفة من قوة الانضغاط المتأخر و بالمقابل تزيد كذلك بصورة طفيفة من قوة الانضغاط المبكر [2],[1] و ذلك يعني ان كميات حجر الكلس النقي المضافة حتى 10 % لا تكون لها تأثير سلبي مؤثر على قوة الانضغاط، حيث يعتمد ذلك على جودة الكلنكر مع ظروف التشغيلية المناسبة للطواحين، يمكن القول ان نسبة حجر الكلس المضافة من 6 % الى 14 % تمثل المنطقة الانتقالية التي تتغير فيها مواصفات الإسمنت المنتج من اسمنت بوتلاندي عادي (OPC) الى اسمنت حجر الكلس النقي (PLC).

جدول(1) [1] يوضح فيه تأثير اضافة حجر الكلس النقي على قوة الانضغاط عندما تكون نعومة (Blaine) الإسمنت المنتج ثابته نسبيا.

Limestone%	0.0	3.0	5.5	8.0
44 µm, % pass	90.0	85.5	81.0	82.4
Blaine cm2/g	3710	3510	3460	3640
1 Day (MPa)	6.41	4.96	4.83	4.68
3 Day (MPa)	18.61	16.13	14.61	14.06
7 Day (MPa)	25.92	22.61	19.92	19.92
28 Day (MPa)	35.51	31.64	28.06	27.16
3 Month (MPa)	40.40	38.13	34.74	33.99
6 Month (MPa)	42.81	40.89	39.98	38.81
12 Month (MPa)	44.33	43.23	41.71	41.39

جودل(2) [1]يوضح فيه تأثير اضافة حجر الكلس النقي على قوة الانضغاط عند عندما تكون المتبقي (Residue) الإسمنت المنتج ثابته نسبيا.

Limestone%	0.0	3.0	5.5	8.0
44 µm, % pass	94.7	91.9	91.2	91.6
Blaine cm2/g	3900	3870	4330	4700
3 Day (MPa)	20.20	20.82	21.16	21.92
7 Day (MPa)	27.65	27.71	28.68	28.26
28 Day (MPa)	39.92	39.09	39.02	38.95
3 Month (MPa)	45.22	46.05	45.36	45.22
6 Month (MPa)	43.57	45.64	45.36	44.33
12 Month (MPa)	44.74	46.05	45.98	44.88

** نلاحظ في الجدولين (1)و(2) قوة الا نضغاط متقاربة مع زيادة النعومة.

Bilawali.com

عند اضافة حجر الكلس النقي بنسب عالية من 15 % الى 25 % يظهر التأثير التخفيفي على الإسمنت المنتج و تقل قوة الانضغاط بالمقارنة مع الإسمنت البورتلاندي العادي التي تحتوي على نسب اقل من حجر الكلس، يمكن تقليل هذا التأثير لحجر الكلس المضاف الى الإسمنت بطحنها اكثر بالمقارنة مع الإسمنت البورتلاندي الاعتيادي.

جدول (3) [8] يوضح فيه تأثير اضافة حجر الكلس الى الكنلكر في طواحين الإسمنت حتى نسبة 35 % على قوة الانضغاط [MPa].

Limestone%	Cement with Blain fineness value of 4301- 4500 cm^2/gm	
	2 Day	28 Day
0 %	28.09	56.49
5 %	24.75	52.87
10 %	20.73	44.57
15 %	16.37	37.39
20 %	12.65	30.57
25 %	11.26	34.00
30 %	10.04	26.85
35 %	7.82	22.80

التصلب (الاولي و النهائي) للإسمنت المنتج مع اضافة حجر الكلس بنسبة حتى 8 % و 10 % تؤدي الى التصلب الاولي و النهائي بصورة اسرع و بالعكس عند اضافة حجر الكلس بنسب من 10 % الى 35 % تؤدي زيادة في وقت التصلب الاولي و النهائي مع الجدير بالذكر ان توزيع ذرات حجر الكلس مع الكلنكر و نسبة حجر الجبس في الإسمنت المنتج و نسبة الالومينايت (C3A) في الكلنكر لها الدور الحاسم في التصلب الاولي و النهائي للاسمنت المنتج مع نعومة الاسمنت المنتج،

جدول (4)[1] يبين التصلب الاولي و النهائي بطريقة فيكات عند تثبيت (Blaine) في الإسمنت قدر الامكان.

% limestone	0.0	3.0	5.5	8.0
44 µm, % pass	90	85.5	81.0	82.4
Blaine cm2/g	3710	3510	3460	3640
Initial Setting (minute)	160	170	170	165
Final Setting (minute)	300	300	295	290

جدول (5)[1] تبين التصلب الاولي و النهائي بطريقة فيكات عند تثبيت (Residue) في الإسمنت قدر الامكان

% limestone	0.0	3.0	5.5	8.0
44 µm, % pass	94.7	91.9	91.2	91.6
Blaine cm2/g	3900	3870	4330	4700
Initial Setting (minute)	200	145	150	140
Final Setting (minute)	310	245	240	230

جدول (6) [8] تبين التصلب الاولي و النهائي عند اضافة حجر الكلس حتى 35%

% limestone	Initial Setting (minute) At 4301- 4500 cm^2/gm	Final Setting (minute) At 4301- 4500 cm^2/gm
0 %	144	220
5 %	101	148
10 %	109	158
15 %	112	162
20 %	115	168
25 %	119	168
30 %	125	168
35 %	136	172

** نلاحظ اختلافات بين قيم الجداول و ذلك نتيجة عدم تشابه طريقة اعدادها و كون النماذج تم تحضيرها بأستخدام طواحين مختبرية صغيرة الحجم.

Bulawali.com

التأثيرات الكيمياوية و الفزيائية لحجر الكلس النقي في الإسمنت

Chemical & Physical Effects of Pure Limestone in the Cement

تأثير إضافة حجر الكلس الى الإسمنت كيميائيا غير واضحة تماما و لكن هناك دراسات عدة تؤكد وجود نوع من التفاعلات تحدث بتكون (hemicarbonate) و (calcium tricarboaluminate) [1],[2], و, Monocarbonaluminate)) ناتج بالغالب من تفاعل حجر الكلس مع معادن الكلنكر من الالومينايت (C3A) ولو بنسب قليلة و قد تعزز هذه المواد المتكونة من القوة بصورة طفيفة مع تفاعل معادن الكلنكر الاساسية [8],[5],[1].

فيزيائيا تعمل حجر الكلس كمادة حشو (Packing) بين ذرات الإسمنت و لوحظ مع زيادة النعومة الإسمنت ازدياد سرعة تفاعل الاليت (C3S) و الالومينايت (C3A) وذلك ربما لامتلاء الفجوات على مستوى الذرات بعد اضافة حجر الكلس النقي الى الكلنكر و طحنهما معا [5],[8],[1]، وتعد هذه احدى اسباب الحاجة الى محتوى ماء اقل ولو بصورة طفيفة عند استخدام إسمنت يحتوي على ذرات حجر الكلس للوصول الى الاتساق المطلوب (Required Consistency) [1],[9],[8]، كذلك لوحظ زيادة الى حد ما في امتصاص الماء عند استخدام حجر الكلس النقي في انتاج الإسمنت [2].

إضافة حجر الكلس النقي حتى نسبة 35 % لا تؤثر كثيرا في فحص الاستقرار الحجمي (Stability Volume) و تبقى ضمن القيم المطلوبة بالغالب [1],[2],[8],[9].

تقل بصورة طفيفة نفاذية (Permeability) الخرسانة بأستخدام إسمنت يحتوي على حجر الكلس النقي [1] وهذا لا يؤثر على العمق الكاربوني (Carbonation Depth) الذي تربطه علاقة عكسية مع قوة الخرسانة [1].

كمية حجر الجبس

Gypsum Quantity

حجر الكلس النقي في الإسمنت لها دور في تأخير التفاعلات الاولية للالومينايت و لكن هذا لا يعني انه يمكن استبدال كل حجر الجبس بحجر الكلس [1] و قد يكون ذلك بسبب تفاعل حجر الكلس الجزئي مع الالومينايت (C3A) في الإسمنت و ايضا وجود نسبة عالية من حجر الكلس النقي يؤدي الى تقليل نسبة الالومينايت (C3A) مع معادن الكلنكر الاخرى و يقلل بذلك الحاجة الى اضافة حجر الجبس للسيطرة على التفاعلات الاولية للاسمنت في الخرسانة، و لنفس السبب تقليل نسبة الالومينايت (C3A) تزيد من خصائص الإسمنت المنتج في مقاومة الكبريتات عند استخدامها في بيئة تحتوي على الاملاح الكبريتية.

استخدام حجر الكلس في انتاج الإسمنت لا يعني بالضرورة الاستغناء عن استخدام حجر الجبس و كون الإسمنت المنتج مقاوم للاملاح الكبريتية و لكن التأثير التخفيفي للاضافة على الإسمنت بتقليل نسب معادن الكلنكر الفعالة تؤدي بطريقة او اخرى الى تعزيز خصائص الإسمنت المنتج من مقاومة املاح التربة الكبريتية.

Bulawali.com

المتبقي الغير القابل على الذوبان و المفقود من الاشعال

Insoluble Residue and Loss of Ignition

المفقود من الاشعال (LOI) لحجر الكلس النقي حوالي (44 %) و المتبقي الغير القابل للذوبان (IR) (3%) لذلك عند طحنها مع الكلنكر عند انتاج الإسمنت تزيد من (LOI) و كذلك تزيد (IR) في حال كون حجر الكلس النقي المستخدم تحتوي على مركبات طينية، المواصفة العالمية (ASTM C150) للاسمنت البورتلاندي و انواعه تحدد نسبة المسموح من (LOI) للاسمنت على ان لاتتجاوز (3 %) و (IR) على ان لاتتجاوز (0.75 %) و حيث ان اضافة حجر الكلس بنسبة (5 %) قد تزيد (LOI) حوالي من (1.7 % حتى 2.2 %) و (IR) قد ترتفع هي الاخرى في حال عدم نقاومة حجر الكلس المستخدم بأحتوائها على شوائب طينية او عند اضافة حجر الكلس النقي اكثر من 5% مثل 10 % او اكثر.

المفقود من الاشعال (LOI) و المتبقي الغير القابل للذوبان (IR) ليس مطلبا ثابتا في كافة المواصفات العالمية حيث ان المواصفات الاوربية لا تأخذ بهما و خاصتا عند انتاج انواع اسمنت (PLC).

نتائج معادلات بوجو

Bogue Equation Results

تستخدم معادلة بوجو في تقدير نسب معادن الكلنكر الرئيسية بأفتراض حدوث تفاعل مثالي داخل الفرن عند انتاج الكلنكر، يتم الاعتماد عليها للحصول على نسب تقريبة لمعادن الكلنكر لكن عند اضافة حجر الكلس النقي الى طواحين الإسمنت حتى بنسب قليلة (5 %) تؤثر على نتائج معادلات بوجو لحساب معادن الكلنكر الرئيسية في الإسمنت حيث تزداد نسبة اللايت (C3S) و تقل نسبة البلايت (C2S) مع ازدياد طفيف في نسبة الالومينايت (C3A) و ذلك لكون نسب اكاسيد حجر الكلس النقي و التي هي من مصدر طبيعي تؤثر على نتائج نسب اكاسيد معادن الكلنكر الناتج من الفرن برفع الحرارة عند حسابها بواسطة معادلات بوجو لذلك يجب تصحيح المعادلات عند اضافة حجر الكلس النقي الى الإسمنت لمعرفة نسب معادن الكلنكر الحقيقية.

الجدول رقم (7)[1] توضح فيها النسب الحقيقة لمعادن الكلنكر بعد تصحيح معادلات بوجو (نوع الإسمنت ASTM C150 Type II)

Bogue phase	Average apparent	With 5 % limestone: Uncorrected	With 5 % limestone: corrected
C3S	53	54	50
C2S	21	19	20
C3A	6	6	6
C4AF	11	10	10

محاسن و محددات اضافة حجر الكلس النقي الى الإسمنت

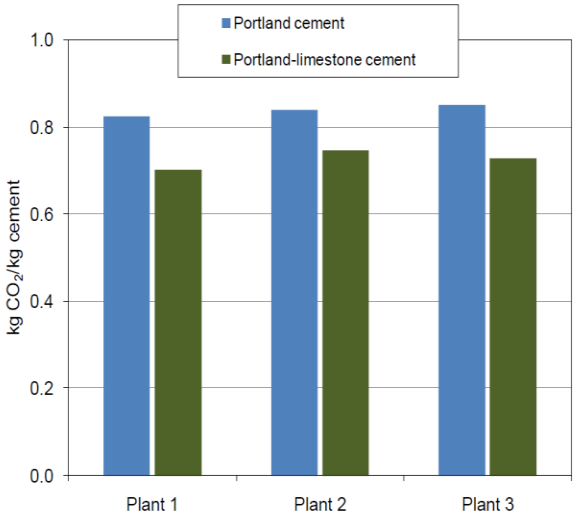
Cons and Pros of Adding Pure limestone and (PLC) Cement

يكون الإسمنت المنتج من اضافة حجر الكلس النقي اقل ضررا على البيئة من تقليل انبعاثات غازات مثل (NOx) و (SO2) و (CO) و ثنائي اوكسيد الكاربون (CO2) و تقل تكلفته لكونها تستبدل بالكلنكر الذي يتم انتاجه في الفرن و تحتاج الى طاقة عالية لانتاجه مع تحرر الغازات الضارة و تكون تكلفتها اكثر من حجر الكلس النقي الذي

Bulawi.com

يتوفر في مقلع معمل الإسمنت بوفرة و بسعر زهيد.[10].

الجدول البياني رقم (1) توضيح الفرق في انبعاثات غاز (CO_2) بين اسمنت (OPC) و (PLC):



إضافة حجر الكلس النقي الى الإسمنت في طواحين الإسمنت فوائد عديدة منها المساعدة في طحن الكلنكر و تقليل حرارة الإسمنت المنتج في حال وجود مشكلة في حرارة الإسمنت بل لها دور اكبر في تقليل كمية حجر الجبس المضافة و تعزيز قوة الانضغاط (Strenght Compressive) و التصلب (Setting) (الاولي ، النهائي) و تقليل ظاهرة النزيف (Bleeding) و السيطرة على التقلص (Shrinking) في الخرسانة [1],[3]علما ان كمية حجر الكلس النقي المضافة لها دور في هذه المحاسن التي تم ذكرها لذلك تتباين مدى فوائدها مع إضافة نسب عالية من حجر الكلس النقي.

لون الإسمنت البورتلاندي (OPC) يكون بلون اخضر مخضر (Greenish Green) و لكن عند اضافة حجر الكلس النقي الى طواحين الإسمنت تؤدي الى تخفيف هذا اللون و تكون افتح و تعتمد على الكمية المضافة حيث كلما زادت تغيير لون الإسمنت الى لون اخضر فاتح و ذلك لا يعني ان جودة الإسمنت ليست بالمستوى المطلوب.

الاستنتاجات

Conclusions

حجر الكلس النقي له دور كبير في تعزيز مواصفات الإسمنت المنتج عند استخدامها بنسب قليلة في طواحين الإسمنت في انتاج الإسمنت البورتلاندي (OPC) و يمكن الحصول على نفس القوة للاسمنت التي لا تحتوي على حجر الكلس النقي حتى عند اضافتها بنسبة حوالي 12 % و التي يمكن تعزيز القوة عندها بالطحن الاضافي.

يمكننا انتاج اسمنت اقل تأثيرا على البيئة و بتكلفة اقل حيث يمكن انتاج اسمنت (PLC) تحتوي على 35 % حجر الكلس او مع خليط خبث المعادن (Slag) رغم كون القوة سوف تقل و لكن استخدام اسمنت (PLC) اثبت نجاحها في كثير من التطبيقات في الدول المتقدمة و التي تغيير من مواصفاتها او تعززها بمواصفات لانواع جديدة من الإسمنت تسمح باستخدام اضافات من حجر الكلس النقي.

Bulawi

المراجع (References)

The Use of Limestone in Portland Cement: A State-of-the-Art Review, by: -1

(Peter Hawkins, Paul Tennis, and Rachel Detwiler)

Portland Limestone Cement Part I - Preparation of Cements, by: -2

(Burak FELEKOĞLU، Kamile TOSUN , İ. Akın ALTUN،Bülent BARADAN)

Understanding Cement, By: -3

(Nick Winter)

ADVANTAGES OF PORTLAND LIMESTONE CEMENT, by: -4

(Tim Cost,senior technicalserviceengineerwithHolcim (US))

Lea's Chemistry of Cement and Concrete, by: -5

(Peter Hewlett)

cement technology Prepared, by: -6

(CEMBUREAU Working Group of cement technology experts)

Cement Plant Handbook Operations -7

(Philip A Alsop, PhD)

THE USE OF LIMESTONE POWDER AS AN ALTERNATIVE CEMENT -8

Wendimu Gudissa and Abebe Dinku)
Department of Civil Engineering
(Addis Ababa University

Understanding Cement -9

(Nichlas B Winter)

كتاب انتاج الإسمنت بالطريقة الجافة -10

(علي بلاوالي)

Bulawali.com