بسم الله الرحمن الرحيم

وقل
رب زدني علما

صدق الله العظيم

جامعة عين شمس – كلية العلوم

تأثير بعض مساعدات الطحن علي نعومة وخصائص التأدرت للأسمنت البورتلاندي في وجود وعدم وجود الحجر الجيري

رسالة مقدمـــة
للحصول علي درجة دكتوراه الفلسفة في العلوم
(الكيمياء)

مقدمة من

محمـد عبد الوهاب محمود علي
ماجستير في الكيمياء
كلية العلوم- جامعة الأزهر – 2013

تحت إشراف

أ.د عيسي السيد هيكل
أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء- كلية العلوم- جامعة عين شمس

أ.د / فايزة سيد هاشم
أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء- كلية العلوم- جامعة عين شمس

2019

جامعة عين شمس – كلية العلوم

قسم الكيمياء

رسالة دكتوراه الفلسفة في العلوم في الكيمياء

اســم الطـالــب: **محمـد عبد الوهاب محمود علي**
عنوان الرسالـة: **تأثير بعض مساعدات الطحن علي نعومة وخصائص التأدرت للأسمنت البورتلاندي في وجود وعدم وجود الحجر الجيري**

اســم الـدرجـــة: **دكتوراه الفلسفة في العلوم في الكيمياء**

لجنــة الإشراف:

أ.د عيسي السيد هيكل	أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء المتفرغ- كلية العلوم- جامعة عين شمس
أ.د فايزة سيد هاشـــم	أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء- كلية العلوم- جامعة عين شمس

لجنــة الحكـــم:

ا.د/ عيســي السيــد هيكل	**أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء المتفرغ بعلوم جامعة عين شمس**
ا.د/ فايــزة سيـد هاشـــم	**أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء- بعلوم جامعة عين شمس**
ا.د/ عصام عبد العزيز كيشار	**أستاذ الكيمياء غيرالعضوية-كلية البنات-جامعة عين شمس**
ا.د/ طارق مصطفي السكري	**أستاذ باحث- المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء**

الدراسات العليا

ختم الإجازة
/ / 2019

أجيزت الرسالة بتاريخ
/ / 2019

موافقة مجلس الكلية
/ / 2019

موافقة مجلس الجامعة
/ / 2019

جامعة عين شمس – كلية العلوم

قسم الكيمياء

صفحة العنوان

اسـم البـاحـــث: محمـد عبد الوهاب محمود علي

الدرجة العلميــة: دكتوراه الفلسفة في العلــوم

القسـم التـابـع لـه: الكيمـــياء

اســم الـكلـــيـة: كليـــة العلـــوم – جامعة الأزهـر

سنـــة التخـــرج: 2005

سنة الحصول علي الماجستير: 2013

جامعة عين شمس – كلية العلوم

قسم الكيمياء

شـكـــــروتقديـــر

" قالوا سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت العليم الحكيم" الآية.

أحب أن أتقدم بخالص الشكر والتقدير للسادة الأساتذة الموقرين الذين قاموا بالإشراف علي هذه الرسالة وبذلوا أقصي جهد من التوجيه والمتابعة لإنجاز الرسالة وساهموا بشكل كبير وملحوظ في إخراج هذه الرسالة لتكون في أفضل صورة, وهم:

أ.د عيسي السيد هيكل

أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء
- كلية العلوم- جامعة عين شمس

أ.د / فايزة سيد هاشم

أستاذ الكيمياء الفيزيائية ومواد البناء
- كلية العلوم- جامعة عين شمس

كما يسعدني أن أتوجه بخالص التقدير والإحترام لكل أعضاء هيئة التدريس والعاملين بكلية العلوم جامعة عين شمس.

محمد عبد الوهاب

الملخص العربي

تهدف هذه الرسالة إلي دراسة تأثير بعض مساعدات الطحن علي الخواص الفيزيوكيميائية والميكانيكية لعجائن الأسمنت والمونة المتصلدة. مساعدات الطحن هي عبارة عن مواد عضوية يتم امتصاصها بشدة علي سطح الجزيئات وذلك لتمنع التكتل والإلتصاق بكرات وبطانة الطاحونة. الغرض الأساسي من إضافتها هي زيادة قابلية الطاحونة لطحن الكلنكر وبذلك فهي تقلل الطاقة اللازمة لطحن الكلنكر إلي نعومة معينة. ونتيجة لذلك فإن وجود مساعدات الطحن ترفع من كفاءة طاحونة الأسمنت. مساعدات الطحن تستخدم منذ أكثر من 50 عاماً ويمكن تقسيم مساعدات الطحن الأكثر شيوعاً إلي مجموعات طبقاً لتركيبها كجليكولات وكحولات وأمينات ومركبات الفينول.

بالإضافة لزيادتها لرفع كفاءة الطاحونة، فإن بعض مساعدات الطحن تقدم تأثيرات إيجابية هامة علي منتج الأسمنت النهائي مثل زيادة تدفق عجينة أو خرسانة الأسمنت حديثة الخلط بالماء وتحسين نمو قوة التحمل للأسمنت.إن مساعدات الطحن التي تدعم مثل هذه الخواص تسمي " محسنات الجودة" أو " محسنات الأداء".

إن إضافة مساعدات الطحن إلي الكلنكر أثناء إنتاج الأسمنت تكون مهمة لأسباب عديدة:

أولاً:لأن نعومة(البلين) الأسمنت النهائي تكون واحدة من العوامل الرئيسية التي تؤثر علي زيادة قوة التحمل المبكرة في الأسمنت. بالإضافة لذلك فإن إضافة مساعدات الطحن تدعم النقص في الطاقة التي تستهلك أثناء طحن الأسمنت. إن أهدافهم الرئيسية هي تقليل الطاقة اللازمة لطحن الكلنكرفي هذه النعومة ولذلك تزيد من كفاءة طحن الأسمنت.

لذلك تم دراسة تأثير بعض مساعدات الطحن على خواص الأسمنت البورتلاندي العادي الجاف والمتحد بالماء في غياب ووجود الحجر الجيري. المخاليط الجافة تم تحضيرها متضمنة مخلوط مرجعي (أي بدون إضافات) يتكون من كلنكر وجبس في وجود وعدم وجود الحجر الجيري بغرض المقارنة. وقد تم عمل استبدال جزئي للأسمنت البورتلاندي العادي بنسب مختلفة من الحجر الجيري (5 ،10%) من وزن الأسمنت وكان وزن كل مخلوط 2 كجم والذي تم تجانسه وطحنه لزمن ثابت وهو 45 دقيقة في طاحونة معملية في وجود وغياب مساعدات الطحن. مساعدات الطحن المستخدمة في هذه الدراسة هي البروبلين جليكول PG والإيثلين جليكول EG وثلاثي الإيثانول أمين TEA ومساعد الطحن التجاري CG. نسب مساعدات الطحن المضافة كانت 0.03، 0.04 ، 0.05 % فيما يتعلق بالأسمنت الجاف.

كل مخلوط جاف سواء مع أو بدون إضافة مساعدات الطحن تم خلطه بكمية معلومة من الماء التي تعطي القوام القياسي المطلوب. وبعد ذلك يتم قياس زمن الشك الإبتدائي والنهائي لعجينة الأسمنت بإستخدام جهاز إبرة فيكات . قوة انضغاط للمخاليط المتصلدة يمكن قياسها بإستخدام المونة بالتركيب (1.0، 0.5، 3.0) أسمنت: ماء: رملة قياسية والتي تم خلطها بإستخدام خلاط أوتوماتيكي. والمونة المحضرة حديثاُ يتم وضعها في قوالب معدنية ذات الأبعاد القياسية(40×40×160) مم وذلك بعد التخلص من فقاعات الهواء بإستخدام جهاز جولتينج. بعد ذلك يتم حفظ هذه القوالب في حضانة تحت درجة حرارة 20±1 ورطوبة نسبية 95%±3 وذلك لمدة 24 ساعة. بعد مرور 24 ساعة يتم إزالة وفك العينات لتوضع في ماء لفترات الهيدرة 2، 7، 28، 90 يوم. لذلك تمت الإختبارات الآتية:

1- تم قياس قيم قوة الضغط بإستخدام آلة اختبار الهيدروليكي .
2- تم قياس حركية الهيدرة بواسطة تعين الماء المتحد والجير الحر.
3- تم تعين تركيب المرحلة و البنية الدقيقة لنواتج الهيدرة بواسطة الفحوصات الآتية:
إجراء تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) والتحليل الحراري التفاضلي (DTA) ومسح المجهر الإلكتروني (SEM) لبعض العينات المختارة لفحص نواتج الهيدرة المتكونة.

ومن هذه الدراسة تم الحصول علي نتائج يمكن تلخيصها كالآتي:

أ) **المخاليط المكونة من (100%)** أسمنت بورتلاندي عادي تم مزجه مع بروبلين جليكول(PG)ومساعد الطحن التجاري (CG).

1. يلاحظ الحصول علي قيم عالية من مساحة السطح أو النعومة للمخاليط الممتزجة بالبروبلين جليكول ومساعد الطحن التجاري عنها في مخلوط الأسمنت المرجعي. هناك زيادة ملحوظة في معامل قابلية الطحن بنسبة المياه القياسية وذلك مع وجود البروبلين جليكول أكثر من مساعد الطحن التجاري في معظم الجرعات المضافة. بينما يلاحظ قيم أقل انخفاضاً لأزمنة الشك الإبتدائي والنهائي لكل المخاليط الممتزجة بالبروبلين جليكول ومساعد الطحن التجاري عنها في مخلوط الأسمنت المرجعي.
2. أظهرت المخاليط الممتزجة بالبروبلين جليكول ومساعد الطحن التجاري قيم لقوة الإنضغاط ومحتوي المياه المتحدة أعلي منها في حالة الأسمنت المرجعي.

3. أظهرت البنية الدقيقة لنواتج التأدرت باستخدام ماسح المجهر الإلكتروني(SEM)أن هناك طبقة جيلاتينية تتكون أساساً من هيدرات سليكات لكالسيوم الشبيه بالهلام وهيدروكسيد الكالسيوم الذي يغطي حبيبات الأسمنت الغير مهيدرة وجزيئات الرمل ويملأ المسام الصغيرة مما يؤدي إلي بنية وتركيب أكثر إحكاماً مقارنة بالأسمنت المرجعي مشيراً إلي تسارع أعلي في درجة الهيدرة والحادث مع مخاليط البروبلين جليكول ومساعد الطحن التجاري عنه في الأسمنت المرجعي.

ب) **المخاليط المكونة من (100%)**أسمنت بورتلاندي عادي وتم مزجه مع إيثلين جليكول(EG) وثلاثي إيثانول أمين (TEA).

1. لقد أظهرت مخاليط الأسمنت البورتلاندي العادي الممتزجة بالإيثيلين جليكول قيم نعومة ومعامل قابلية الطحن أعلي من المخلوط المرجعي والمخلوط الممتزج بثلاثي إيثانول أمين. بينما أظهرت نتائج مياه الخلط وأزمنة الشك الإبتدائي والنهائي لمخلوط الأسمنت البورتلاندي العادي الممتزج بثلاثي إيثانول أمين قيم أعلي من مخلوط الأسمنت البورتلاندي العادي الممتزج بالإيثيلين جليكول.

2. يلاحظ ارتفاع قيم قوة الإنضغاط والمياه المتحدة لمخلوط الأسمنت البورتلاندي العادي الممتزج بالإيثيلين جليكول(EG)وثلاثي إيثانول أمين(TEA)عن الأسمنت المرجع. كما لوحظ أنه في مراحل الهيدرة المتأخرة وبالنسبة لمخلوط الأسمنت البورتلاندي العادي الممتزج بثلاثي إيثانول أمين قد أعطي قيم قوة انضغاط أعلي من المخلوط الممتزج بالإيثيلين جليكول وبالطبع أعلي من الأسمنت المرجع.

3. لقد أظهرت نتائج البنية الدقيقة الماسح المجهر الإلكتروني(SEM) تركيب أكثر إحكاماً من نواتج الهيدرة الأساسية مثل (هيدرات سيليكات الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم) لمخاليط الأسمنت الممتزجة بالإيثيلين جليكول وثلاثي إيثانول أمين من الأسمنت المرجع والذي يشير إلي أن تكوين نواتج الهيدرة يستمر لينتج هيكل هائل من قوة الإنضغاط المحسنة.

ج) **المخاليط المكونة من (100%)** أسمنت بورتلاندي عادي تم مزجه مع بروبلين جليكول(PG) و إيثلين جليكول(EG) بنسبة (1:1) بالحجم ويسمي(PEG).

1. لقد أظهرت مخاليط الأسمنت البورتلاندي العادي الممتزجة بنسب 0.04 و 0.05% وزن من مخلوط مساعد الطحن البروبلين جليكول و الإيثيلين جليكول (1:1) بالحجم والمسمي(PEG) قيم من نعومة الأسمنت ومعامل قابلية الطحن أقل من الناتجة مع البروبلين جليكول أو الإيثيلين جليكول ؛ وبالتالي فإن نتائج مياه التكوين وأزمنة الشك الإبتدائي مع مساعد الطحن (PEG) كانت أقل منها في حالة البروبلين جليكول أو الإيثيلين جليكول، بينما لوحظ ارتفاع طفيف في نتائج زمن الشك النهائي مع مساعد الطحن (PEG)عنها مع البروبلين جليكول أو الإيثيلين جليكول خاصة مع استخدام النسبة0.04%.

2. لقد وجد أنه لايوجد فرق كبير عند مقارنة نتائج قوة الإنضغاط لمخاليط الأسمنت البورتلاندي العادي في وجود مخلوط البروبلين والإيثيلين جليكول (PEG) كمساعد طحن للمخاليط مع مخاليط الأسمنت المحتوية علي البروبلين جليكول PG بمفرده أو الإيثيلين جليكول EG بمفرده.

3. وقد لوحظت قيم معتدلة وعالية لمحتويات الماء المركبة لـ PEG الممزوجة بمزيج المرجع في الأزمنة المبكرة من الهيدرة في كلتا الجرعتين من 0.04 و 0.05 بالوزن. ٪ إذا ما قورنت بمزج مخلوط المرجع مع مساعدات الطحن EG و PG.علاوة علي ذلك فقد لوحظ في الأزمنة المتأخرة من الهيدرة قيم عالية لمحتويات الماء المتحدة لـ PEG الممزوجة بخليط المرجعي في كلتا الجرعتين من 0.04 و 0.05 بالوزن.

د) **المخاليط المكونة من** أسمنت بورتلاندي+ الحجرالجيري وتم مزجه مع بروبلين جليكول(PG) ومساعد الطحن التجاري (CG).

1. لقد لوحظت قيم عالية من النعومة أو البلين ومعامل قابلية الطحن للمخاليط OPC-L5 وOPC-L10 في حالة المزج مع PG وCG بجرعات 0.03 و 0.04 % بالوزن عنها بدون مزج مع مساعدات طحن، كما لوحظ أن قيم عالية من مياه التكوين لمخاليط الأسمنت الحجري الـ 5 و10% الممتزجة بالبروبلين جليكول بجرعة 0.03% والممثلة بـ PG1L5 وPG1L10 عن نفس مخاليط الأسمنت الحجري مع مساعد الطحن التجاري بنفس الجرعة والممثل بـ CG1L5 وCG1L10 بينما لوحظ قيم منخفضة من مياه التكوين في حالة الجرعة 0.04% بالوزن لنفس مخاليط

الأسمنت الحجري. وبالنسبة لقيم أزمنة الشك الإبتدائي والنهائي لمخاليط الأسمنت الحجري (5%) الممتزجة بـ PG وCG والممثلة بـ PG1L5،PG2L5 ، CG1L5 CG2L5 فقد كانت أعلي من المرجع بدون المزج والممثل بـ OPC-L5.بينما كانت قيم أزمنة الشك الإبتدائي والنهائي أقل من المرجع (10%) والممثل بـ OPC-L10.

2. لقد أظهرت نتائج قوة الضغط الميكانيكي لمخاليط الأسمنت والحجرالحجري بنسبه (5 و 10)% والممثلة بـ OPC-L5 و OPC-L10 في حالة استخدام الجرعة 0.03% بالوزن من البروبلين جليكول PG قيم أعلي منها في حالة استخدام نفس الجرعة مع مساعد الطحن التجاري CG. بينما كانت قيم قوة الإنضغاط أقل في حالة استخدام الجرعة 0.04% بالوزن. وبالنسبة للمياه المركبة فقد كانت قيمها في حالة استخدام البروبلين جليكول أعلي منها في حالة استخدام مساعد الطحن التجاري CG في كلا الجرعتين 0.03 و 0.04 % بالوزن.

3. لقد أظهرت نتائج البنية الدقيقة الماسح المجهر الإلكتروني(SEM) للمخاليط PG2L5 وCG2L5 بعد يومين من الهيدرة تركيب أكثر كثافة من مخلوط الأسمنت الحجري المرجع OPC-L5. وبعد 90 يوماً من الهيدرة فلقد أظهرت نتائج البنية الدقيقة الماسح المجهر الإلكتروني(SEM) لنفس المخاليط غطاء من الحجر الجيري وجزيئات الرمل أكثر اكتمالاً مع طبقة جيلاتينية من نواتج الهيدرة وذلك أكثر منها في حالة الأسمنت الحجري المرجع OPC-L5.

1. **Abo El Enein; S.A., Daimon; M., Ohsawa; S. and Kondo; R., "Hydration of low porosity slag-lime pastes". Cement Concrete Res, 4(2), pp. 299–312, (1974).**

2. **Aggoun; S., Cheikh-Zouaoui; M. Chikh; N., Duval; R., "Effect of some admixtures on the setting time and strength evolution of cement pastes at early ages. Construction and Building Materials, Volume 22, pp. 106-110, (2008).**

3. **Ai; Q., Fang; GZ. , Zhao; YF. , Wang; CH. and Ren; SX. , "Synthesis and characterization of diethanolamine-based lignin nonionic surfactant". Chemistry and Industry of Forest Products; 29(6):pp. 52–56, (2009).**

4. **Aiad; I., Mohammed; A.A. and Abo- EL- Enein; S.A., "Rheological properties of cement pastes admixed with some alkanolamines". Journal of Cement and Concrete Research. 33(1): pp. 9-13, (2003).**

5. **Albayrak; A.T. Yasar; M. Gurkaynak; M.A. and Gurgey; I. "Investigation of the effects of fatty acids on the compressive strength of the concrete and the grindability of the cement". Cement and Concrete Research, 35:pp. 400-404, (2005).**

6. **Ashok; K.T. and Subrato; C., "Relative evaluation of performance of limestone calcined clay cement compared with Portland pozzolana cement" Journal of Asian Concrete Federation. Vol. 2, No. 2, pp. 110-116. (2016).**

7. **Assaad; J. and Asseily; S., "Use of water reducers to improve grindability and performance of Portland cement clinker". ACI Materials Journal, 108(6): pp. 619–627, (2011).**

8. Assaad; J. J. "Quantifying the effect of clinker grinding aids under laboratory conditions" .Minerals Engineering, vol.81, pp. 40–51, (2015).

9. Assaad; J.J. and Issa; C.A. "Effect of clinker grinding aids on flow of cement-based materials,"Cement and Concrete Research, vol. 63, pp. (1–11), (2014).

10. Assaad; J.J., Asseily; S.E. and Harb; J., "Effect of specific energy consumption on fineness of Portland cement incorporating amine or glycol-based grinding aids". Materials and Structures, 42(8):pp.1077-1087 (2009).

11. Assaad; J.J., Asseily; S.E. and Harb; J., "Use of cement grinding aids to optimize clinker factor". Advances in Cement Research 21:pp.1–8, (2009).

12. ASTM C 150, "Standard specification for cement,"ASTMC150-12, ASTM International, West Conshohocken, Pa, USA, (2012).

13. ASTM C 465, "Standard specification for processing additions for use in the manufacture of hydraulic cements,"ASTM C 465-10, ASTM International, West Conshohocken, Pa, USA, (2010).

14. Bachiorrini; A., "Polymorphism of monocalcium aluminate. Study by infrared spectroscopy.Cement and Concrete Research. 15(1): pp.167-173, (1985).

15. Balayssac; J.P., Detriche; C.H. and Grandet; J., "Effects of curing upon carbonation of concrete". Journal of Constrtruction and Building Materials.9, pp. 91–95, (1995).

16. **Baron; J. and Douvre; C., "Technical and Economical Aspects of the Use of Limestone Filler Additions in Cement," World Cement, 18(4):pp. 100-104 (1987).**

17. **Bathia; JS. , "Use of grinding aids in ball mill grinding". World Cement Technology; Vol. 10; No 10; pp. 413-418, (1979).**

18. **Béke; B., Silikattechnik, "Difficultés et limites du broyage fin par voie sèche". Vol. 24; No 4; pp. 114-116 (1973).**

19. **Bensted; J., "Hydrophobic Portland cement", World Cement 23 (7): pp. 30– 31, (1992).**

20. **Bentz; D. P., Garboczi; E. J. Haecker; C. J. and Jensen; O. M. "Effects of cement particle size distribution on performance properties of Portland cement-based materials," Cement and ConcreteResearch, vol.29, no.10, pp.1663–1671, (1999).**

21. **Bentz; D. P., Irassar; E.F., Bucher; B. and Weiss; J., "Limestone Fillers to Conserve Cement in Low w/cm Concretes: An Analysis Based on Powers Model", Concrete International, 31 (11) and (12), pp. 41-46 and pp. 35-39, (2009).**

22. **Bentz; D. P.," Modeling the influence of limestone filler on cement hydration using CEMHYD3D", Journal of Cement and Concrete Composites 28(2): pp. 124–129, (2006).**

23. **Bentz; D.P., "A review of early-age properties of cement based-materials". Cement and Concrete Research 38(2):pp. 196-204, (2008).**

24. **Bhatty; J. Miller; F. and Kosmatka; S. Innovations in Portland Cement Manufacturing, CD-ROM: SP400, Portland Cement Association (PCA), Skokie, I ll, USA, (2004).**

25. Bizzozero; J. and Scrivener; K.L. "Limestone reaction in calcium aluminate cement-calcium sulfate systems". Journal of Cement and Concrete Research, 76, pp. 159-169, (2015).

26. Bonavetti; V. Donza; H. Rahhal; V. and Irassar; E. "Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement", Cement and Concrete Research 30, pp. 703-708, (2000).

27. Bonavetti; V.; Donza; H.; Menendez; G.; Cabrera; O. and Irassar; E.F. "Limestone filler cement in low w/c concrete": A rational use of energy. Journal of Cement and Concrete Research 33, pp. 865–871, (2003).

28. Bravo; A., Cerulli, T., Giarnetti; M. and Magistri; M. in: 11th Int. Cong. Chem. Cem., pp. 1100-1110, Durban, (2003).

29. Cella; T., Cerulli; D., Salvioni; D and Stella; S. "Morphological variation of cement paste microstructure due to the use of admixtures", 23th international conference on cement microscopy, (2001).

30. Chandra; S. and Flodin; P. "Interactions of polymers and organic admoxtures on Portland cement hydration". Volume 17, issue 6, pp. 875-890, (1987).

31. Cheilas; A., Katsioti; M., Georgiadis; A., Malliou; O., Teas; C. and Haniotakis; E., "Impact of hardening conditions on the stabilized/ solidified products of cement – sewage sludge – jarosite/alunite", Cement and Concrete Composites, 29, pp. 263-9, (2007).

32. Choi; H., Lee; W., Kim; DU., Kumar; S., Kim; SS. and Chung; HS., "Effect of grinding aidson the grinding energy consumed during grinding of calcite in a stirred ball mill". Minerals Engineering Journal; 23(1):pp. 54–57, (2010).

33. Cordeiro; G.C., Filho; R.D.T Tavares, L.M. and Fairbairn; E.M.R. "Ultrafine grinding of sugar cane bagasse ash for application as pozzolanic admixture in concrete". Cement and Concrete Research, 39:pp. 110-115, (2009).

34. Del Rio; JC., Gutiérrez; A., Romero; J., Martinez; MJ. and Martinez; AT. "Identification of residual lignin markers in eucalypt kraft pulps by Py-GC/MS". Journal of Analytical and Applied Pyrolysis; pp. 58–59 and 425–439, (2001).

35. Delagrammatikas; G. and .Tsimas; S. "Grinding process simulation based on Rosin-Rammlere quation,".Chemical Engineering Communications, 191(10):pp.1362–1378, (2004).

36. Dodson; V.H., "Concrete admixtures". Structural Engineering Series: Van Nostrand Reinhold; New York, pp. 73-102, (1990).

37. Dombrowe; H., Hoffmann; B. and Sheibe; W., Zement- Kalk- "Gips International", 35 (11): pp. 571, (1982).

38. Domone, P., and Illston, J. Construction Materials: Their Nature and Behaviour (4th ed.). CRC Press, pp. 568, (2010).

39. Douy; A. and Gervais; M., "Crystallization of amorphous precursors in the calcia-alumina system". A differential scanning calorimetry study. J Am Ceram Soc, 83(1): pp. 70-76, (2000).