تأثير التركيب الكيميائي للإسمنت ونعومته على تطور مقاومته
حالة دراسية: الإسمنت البورتلندي السوري

د. المهندس محمود اسماعيل *

الملخص

الإسمنت البورتلندي هو رابط هيدروليكي يؤمن التصاق الحصويات مع بعضها بعضاً ضمن الخلطة الخرسانية. تبدأ عملية تصنيعه بمادتين خام رئيستين: مادة كلسية و مادة غضارية تحتويان أربعة أكاسيد رئيسة هي: $CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3$. تتفاعل هذه المواد الخام ضمن الفرن لتشكل مركبات كيميائية معقدة مثل: سليكات الكالسيوم الثلاثية C_3S، سليكات الكالسيوم الثنائية C_2S، ألومينات الكالسيوم الثلاثية C_3A، ألومينات وحديدات الكالسيوم الرباعية C_4AF.تعمل هذه المركبات و لاسيما سليكات الكالسيوم الثلاثية و الثنائية، عند إماهتها، على تأمين الخواص الميكانيكية المطلوبة للإسمنت، ولاسيما المقاومة على الضغط في الأعمار المختلفة.

تناول هذا البحث تأثير نسب أكاسيد الإسمنت ودرجة نعومته ودور عامل تشبع الكلس في خواصه الميكانيكية ولاسيما مقاومة الضغط، من خلال تطبيق برنامج بحثي على أربع عينات من الإسمنت البورتلندي السوري العادي من النوع I والرتبة 32.5 (CEM I 32.5 N) والمأخوذة بشكل عشوائي من معامل القطاع العام والخاص.

أُجري التحليل الكيميائي لهذه العينات باستخدام (XRD (X-ray diffraction ، وتم قياس نعومتها وفقاً للمواصفة القياسية السورية 1673/1996. أظهرت النتائج أن عينة واحدة فقط من العينات الأربع المدروسة توافق تركيبها بنسبة كبيرة مع الاشتراطات الواردة في المواصفة السورية 1887/1997 والمواصفة الأوروبية EN 197-1/2011، وحققت الحد الأدنى المطلوب لمقاومة الضغط بعمر 28 يوماً. أما النعومة فكانت ضمن المجال المسموح لجميع العينات وأسهمت بتطور المقاومة في الأعمار المبكرة لجميع العينات وتجاوزها للحد الأدنى المطلوب بعمر 7 أيام.

تأتي أهمية هذا البحث بتسليط الضوء على جودة صناعة الإسمنت في الوقت الحالي ومدى مطابقتها للمواصفات السورية والأوروبية، ولا سيما مع زياد الطلب المتوقعة عليه عند البدء بمرحلة إعادة الأعمار .

الكلمات المفتاحية: الإسمنت البورتلندي، المقاومة، التركيب الكيميائي، النعومة.

* مدرس في قسم هندسة النقل ومواد البناء – كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.

The Effect of cement composition and its fineness on development of its strength. Case study: Syrian cement

Dr. Mahmoud Ismail*

Abstract

Portland cement is a hydraulic binder which bonds aggregates together in the concrete mixture. Production of Portland cement starts with two basic materials: a calcareous material and argillaceous material, contain four main oxides: CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3. These raw materials interact in the kiln forming complex chemical compounds such as: Tricalcium silicate C_3S, Dicalcium silicate C_2S, Tricalcium aluminate C_3A, Tetracalcium alminoferrite C_4AF. These compound especially C_3S, C_2S, when hydrated, provide the desired mechanical properties of cement such as compressive strength at different ages.

The effects of the ratios of these oxides forming Portland cement, its fineness and the role of lime saturation factor on its mechanical properties especially compressive strength were investigated in this research. A research programme was applied to four samples of Syrian cement (CEM I 32.5N). The samples were taken virtually from privet sector and from state sector of cement factories.

The chemical analysis of cement samples was obtained using XRD (X-ray diffraction) method. Their fineness was measured and compared with to Syrian specification 1673/1997. The results showed that only one sample has a chemical composition and compressive strength at age of 28 days that compatible with Syrian specification 1887/1997 and European standard requirements EN 197-1/2011. The values of cement fineness were acceptable for all samples and played an important role in rapid development of strength at early age (7 days).

The importance in this research is to highlight the quality of cement industry in the present time, and is to investigate if it is compliance with the Syrian and European standards especially a significant increase in cement demand is expected when starting the reconstruction period.

Key words: Portland cement, Strength, Chemical Composition, Fineness

* Lecturer, Department of transportation and building materials engineering - Faculty of civil engineering- Damascus University.

المقدمة:

يُعدُّ الإسمنت البورتلندي أحد المواد الأكثر تصنيعا في العالم، فقد تجاوزت كمية الإسمنت المنتج على المستوى العالمي 4000 مليون طناً في عام 2016 [1]. يعمل الإسمنت عند تفاعله مع الماء (تفاعلات الإماهة) على تشكيل عجينة إسمنتية تربط الأجزاء الصلبة (الحصويات) بعضها مع بعض ضمن الخلطة الخرسانية، [2] .

يسهم التركيب الكيميائي للإسمنت والمكون بشكل أساسي من سيليكات الكالسيوم، بشكل فعال في تحديد خواص المادة الربطة (العجينة الإسمنتية) في حالتيها الطرية والمتصلبة (أزمنة الأخذ، تطور المقاومة). ويرتبط هذا التركيب الكيميائي بنسب وتركيب المواد الخام المستخدمة في صناعته، وبحركة هذه المواد والحرارة المتدرجة التي تتعرض لها ضمن الفرن الدوار في معمل الإسمنت.

لقد تطورت صناعة الإسمنت البورتلندي بشكل كبير منذ الصيغة الأولى التي وضعها وسماها بهذا الاسم، البنّاء الإنكليزي جوزيف اسبدين ((Joseph Aspdin حتى الوقت الحالي من حيث تكنولوجيا التصنيع والتركيب الكيميائي [3, 4]، فتعددت أنواع الإسمنت حتى وصلت وفقا للمواصفة الاوروبية EN 197-1 إلى سبعة وعشرين نوعاً [5]. ترافق هذا التطور مع وضع مواصفات قياسية لتقييم خواصه.

ولعل المواصفتان الأشهر هما المواصفة الامريكية ASTM C150, C595, والمواصفة الأوروبية EN 197-1 [5,6,7] ومنهما تستمد معظم الدول مواصفاتها المحلية. تُعدُّ صناعة الإسمنت في سوريا إحدى الصناعات الاستراتيجية لارتباطها بأعمال الإنشاء والتعمير، بخاصة وأن المواد الأولية اللازمة لهذه الصناعة متوفرة في العديد من المناطق. تعود صناعة الإسمنت إلى عام 1930 حيث أُسست الشركة الوطنية لصناعة الإسمنت ومواد البناء، تبعها تأسيس أول معاملها، وهو معمل إسمنت دمر في العام نفسه.

تطورت صناعة الإسمنت وأصبح هنالك عدداً من المصانع العائدة للقطاع العام والخاص، والتي أنتجت أكثر من خمسة ملايين طن من الإسمنت في عام 2019 على الرغم من قدم خطوط إنتاج بعضها ،والتخريب الذي طال بعضها الآخر بفعل الحرب الظالمة على بلدنا الحبيب سورية.

2- الدراسة المرجعية:

شكلت نسب المواد الخام الداخلة في صناعة الإسمنت وما تحتويه من أكاسيد مختلفة وتأثير ذلك في خواصه الميكانيكية، محوراً للعديد من الدراسات [8,9,10,11,15]. عند إدخال المواد الخام إلى فرن صناعة الإسمنت، فإنها تتعرض لدرجات حرارة متدرجة تصل حتى 1450°C و هذا يؤدي إلى اتحاد جزئي للأكاسيد الموجودة ضمنها لتشكل مركبات الكلينكر الرئيسة (C_3S, C_2S, C_3A, C_4AF). تمكن بوغ ورفاقه من حساب نسب هذه المركبات بالاعتماد على نسب الأكاسيد في المواد الخام عن طريق مجموع من المعادلات سُميت باسمه Bogue's equations، [12] .

تُعدُّ سيليكات الكالسيوم الثنائية والثلاثية(C_2S, C_3S) المسؤولتين الرئيستين عن تطور مقاومة الإسمنت في مختلف الأعمار المبكرة والمتأخرة، [10, 13].

يحتوي الإسمنت الخام أيضاً على مجموعة من المركبات الثانوية التي لا تزيد نسبتها عن 5% من وزنه، أهم هذه المركبات Na_2O, K_2O اللذان يسهمان بشكل أساسي بإكساب الإسمنت قلويته العالية، كما أنهما يمكن أن يتفاعلا مع بعض أنواع الحصويات ليشكلا مادة هلامية منتفخة ذات اثر تخريبي في الإسمنت المتصلب، [14].

يمكن أن يتواجد ضمن الإسمنت الخام بعض الأكاسيد الحرة مثل CaO, MgO التي إذا تجاوزت نسبتها الحدود المقبولة، يمكن أن يكون لها أثر سلبي في الخواص الميكانيكية للإسمنت عند تفاعلها مع الماء، [16] .

تتم عملية الإماهة والتي هي تفاعل ذرات الإسمنت مع الماء بطريقتين: الأولى تسمى الحلمهة، والثانية تسمى الإماهة الحقيقية (التفاعل الكيميائي)، [10,11]. تؤثر أبعاد ذرات الإسمنت (نعومته) بشكل كبير في نسبة الإماهة في الأعمار المبكرة، حيث تبين أن زيادة نعومة الإسمنت تؤدي إلى زيادة المقاومة المبكرة المقاسة بعمر يومين وسبعة أيام. أما تأثير النعومة في المقاومة في الأعمار المتأخرة فلا يكاد يذكر، [13,18] .

يهدف هذا البحث إلى تقييم جودة الإسمنت السوري المنتج في الوقت الراهن من خلال دراسة تأثير تركيبه الكيميائي ونعومته في تطور مقاومته مع الزمن.

3- البرنامج التجريبي:

أُنجز هذا العمل البحثي التجريبي على أربع عينات إسمنتية مختلفة المصدر، مأخوذة عشوائيا من ثلاثة معامل إسمنت قطاع عام ومعمل إسمنت قطاع خاص. جميع عينات الإسمنت من النوع الأول I العادي والرتبة 32.5 وفقا للمواصفة القياسية السورية 1887/1997 المتوافقة مع المواصفة الأوروبية EN 197-I . رُمّزت العينات بالرموز التالية S1, S2, S3, S4. أجري التحليل الكيميائي لجميع العينات باستخدام XRD (X-ray diffraction) ومن ثم قيست النعومة لها. بعد ذلك تم تحديد مقاومة الإسمنت باستخدام المونة الإسمنتية النظامية.

ضمن هذا العمل التجريبي أيضاً، اختُبرت صلاحية الإسمنت (انتفاخه) ومقدار حاجته للماء لتشكيل العجينة النظامية وقياس أزمنة الأخذ لها.

يجب الإشارة إلى أن جميع العينات قد تم تجهيزها واختبارها من قبل الشخص (الباحث) نفسه، كما أن ظروف إنضاج العينات كانت متماثلة من حيث درجة الحرارة والرطوبة.

3-1 التركيب الكيميائي:

يبين الجدول رقم (1) نسب الأكاسيد الأساسية (CaO, SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3) ونسبة الكبريتات والكلس الحر وأكسيد المغنيزيوم و المواد غير الذوابة. بالإضافة لقيم المجالات المسموحة لكل مركب و الواردة في المراجع [3, 5, 6, 10, 18] .

تبين قراءة النتائج أن العينة S1 تعاني زيادة بنسبة السيليس بحدود 13%، وانخفاضاً واضحاً بنسبة أكسيد الكالسيوم (أقل بحدود 20% من الحد الأدنى المسموح)، بينما يكون هذا الانخفاض قليلا لا يتعدى 5% بالنسبة للعينتين S3, S4، أما العينة S2 فنسبة أكسيد الكالسيوم فيها مقبولة، ونسبة أكسيد السيليس قريبة جداً من الحد الأدنى المسموح. يُلحظ أن نسبة أكسيد الكالسيوم الحر في جميع العينات تتجاوز الحد الأعظمي المسموح به والذي يعادل (1%). ومن ثمَّ يجب إجراء اختبار صلاحية الإسمنت (اختبار لوشاتولية) للتأكد من عدم حدوث انتفاخ للإسمنت أكبر من الحد المسموح. بالمقابل فإن نسبة أكسيد المغنيزيوم ولجميع العينات أقل من الحد الأعظمي المسموح به والذي يُعادل (5%).

تقع نسبة الفاقد بالاحتراق ضمن المجال المسموح به، وهذا يدل على أن العينات لم تتعرض لعملية كربنة أو إماهة أثناء تخزينها. أما نسبة الشوائب والتي يمثل الجبس المصدر الرئيس لها فإنه يُعبّر عنها بالمواد غير الذوابة IR (insoluble residue) وهي تقع ضمن المجال المسموح به لجميع العينات.

الجدول (1): التركيب الكيميائي لعينات الإسمنت

الأكاسيد	المجال المسموح %	S1	S2	S3	S4
Cao	60-67	48.78	61.04	57.36	57.48
SiO_2	19-23	26.17	18.24	22.57	22.11
Al_2O_3	3-7	5.53	4.70	4.97	4.90
Fe_2O_3	1.5-4.5	6.30	4.61	4.93	5.18
SO_3	2-3.5	2.74	2.63	2.78	3.18
MgO	< 5	3.66	2.84	3.28	2.60
CaO free	< 1	2.31	3.86	1.79	2.73
الفاقد بالاحتراق	3-0	1.94	1.72	1.53	2.08
IR (المواد غير الذوابة)	0.3-5.0	2.23	0.61	1.87	1.90

3-2 اختبار النعومة:

ترتبط نعومة الإسمنت بعملية طحن الكلينكر مع الجبس أثناء عملية التصنيع، ولها تأثير كبير في درجة الإماهة ومن ثمَّ على تطور المقاومة لاسيما في الأعمار المبكرة.

أُجريَ الاختبار وفقاً للمواصفة السورية 1673/1996 المتوافقة مع المواصفة الأوروبية EN 196-6، [19, 25]، وهو يتألف من قسمين: الأول هو اختبار النعومة باستخدام المنخل ذو الفتحة 90µm، والثاني هو اختبار النعومة باستخدام جهاز بلين.

يبين الجدول (2) نتائج القسم الأول، حيث يُلحظ أن النسبة المحجوزة لجميع العينات أقل من 10%، والتي تمثل القيمة العظمى المسموحة.

كما يُظهر الجدول نفسه قيم نعومة الإسمنت المقاسة بواسطة خلية النفاذية الخاصة بجهار بلين، حيث يُلحظ أن كل القيم ضمن المجال السموح.

الجدول (2): نتائج اختبار نعومة الإسمنت

معايير النعومة	المجال السموح	S1	S2	S3	S4
النسبة المحجوزة %	≥ 10	0.0	2.4	5.6	1.1
نعومة بلين m^2/kg	300-420	355.7	334.3	313.3	341.5

3-3 اختبار أزمنة الأخذ:

تؤدي زيادة نعومة الإسمنت إلى زيادة السطح النوعي ومن ثمَّ إلى زيادة في الحاجة للماء. لذلك تم تحديد كمية الماء اللازمة للحصول على العجينة الإسمنتية النظامية لجميع العينات، كما تم تحديد زمن الأخذ الأولي ومقارنته بالحد الأدنى المطلوب. أُجري الاختبار وفقاً للمواصفة السورية 1675 المتوافقة مع المواصفة الأوروبية EN 196-3، [20, 24].

يُلحظ من النتائج المدرجة في الجدول (3) أن جميع العينات سجلت زمن أخذ أولي أكبر أو تساوي الحد الأدنى المطلوب. أما بالنسبة لزمن الأخذ النهائي فلم يتم تحديده نظراً لأن المواصفة الأوروبية EN 197-1 والمواصفة الأمريكية ASTM C150 لا تورد أي مجال مسموح لهذا الزمن.

الجدول (3): أزمنة الأخذ و كمية الماء اللازمة لتشكيل العجينة النظامية.

معايير العجينة النظامية	المجال المسموح	S1	S2	S3	S4
نسبة الماء إلى الإسمنت %	-	30	30	28	29
زمن الأخذ الأولي min	≥ 75	120	100	120	75

3 – 4 تحديد المقاومة:

تم تحديد مقاومة الانعطاف (مقاومة شد غير مباشر) لعينات موشورية mm (40x40x160) من المونة الإسمنتية، وكذلك تحديد مقاومة الضغط باستخدام عينات مكعبية أبعادها mm (40x40x40). أجري الاختبار وفقا للمواصفة السورية 1674، المتوافقة مع المواصفة الأوروبية EN 196-1، [21 ,26].

أُنجزت ثلاث خلطات لكل نوع من أنواع الإسمنت المدروسة وذلك بهدف تحديد مقاومة الانعطاف والضغط بأعمار 2 ,7 ,28 يوماً. تتألف الخلطة الواحدة اللازمة لصب ثلاثة مواشير من 450g من الإسمنت و 1350g من الرمل القياسي المعتمد في المواصفات الأوروبية الموحدة (CEN)، و 225g من الماء الصالح للشرب.

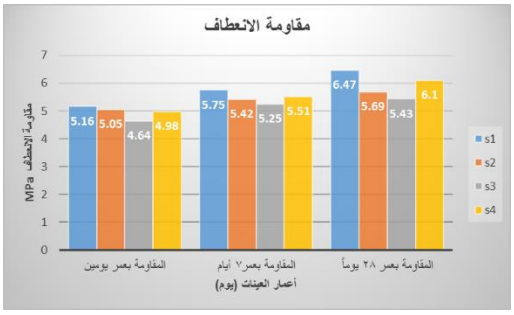
يُعبّر عن قيمة مقاومة الانعطاف بالمتوسط الحسابي لقيم مقاومة ثلاثة مواشير (خلطة واحدة)، بينما يُعبر عن مقاومة الضغط بالمتوسط الحسابي لستة مكعبات ناتجة عن كسر المواشير الثلاثة السابقة، مع استبعاد قيم المقاومات التي تختلف عن المتوسط الحسابي بنسبة (±10%).

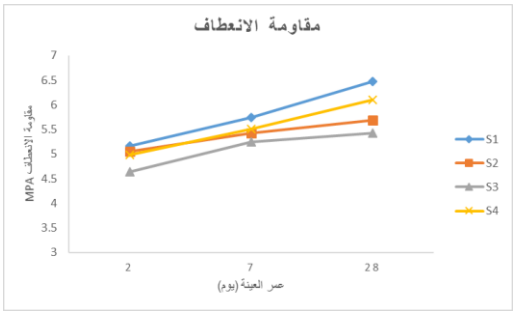
يبين الجدول (4) والشكل (1) نتائج اختبارات مقاومة الانعطاف، يُلحظ أن تطور مقاومة الانعطاف يكون كبيراً في الأعمار المبكرة و بطيئاً بالأعمار المتأخرة، وهو ما يتوافق مع المراجع [10,13] .

يُشار إلى أن العينة S1 قد سجلت قيم المقاومة الأعلى بالمقابل فإن العينة S3 قد سجلت القيم الأدنى. لا تُحدد المواصفة EN 197-1 أو المواصفة ASTM C150 أيّ حدود دنيا مطلوبة لمقاومة الانعطاف بكافة الأعمار.

الجدول (4): نتائج اختبارات مقاومة الانعطاف.

المقاومة (MPa)	S1	S2	S3	S4
عمر يومين	5.16	5.05	4.27	4.98
عمر 7 أيام	5.75	5.42	5.25	5.51
عمر 28 يوماً	6.47	5.69	5.43	6.5



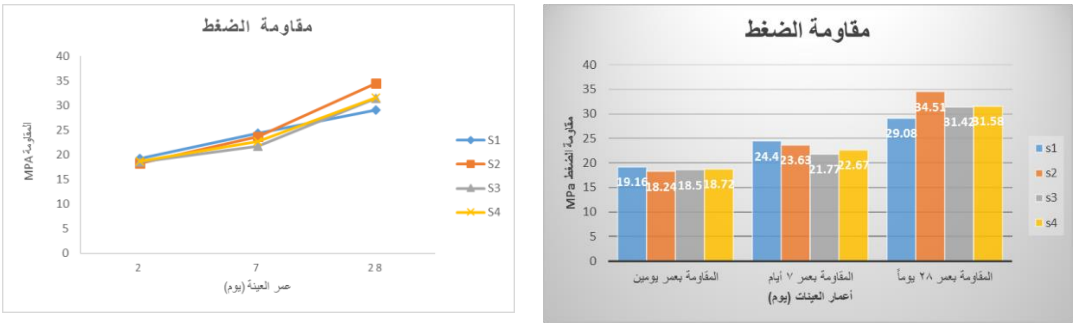


الشكل (1): مقاومة الانعطاف بأعمار 2 ,7 ,28 يوماً

يبين الجدول (5) والشكل (2) نتائج اختبارات الضغط بأعمار 2 ,7 ,28 يوماً. يُلحظ أن جميع العينات قد حققت الحد الأدنى المطلوب للمقاومة بعمر 7 أيام، بالمقابل فإن عينة واحدة فقط S2 تجاوزت قيمة مقاومتها على عمر 28 يوماً، الحد الأدنى المطلوب. يجب الإشارة إلى أنّ العينتين S3, S4 قد سجلتا قيمتي مقاومتين قريبتين جداً من الحد الأدنى المطلوب. فيما يخص المقاومة بعمر يومين فلا يوجد اشتراطات محددة واردة في المواصفة EN 197-1 بالنسبة للإسمنت البورتلندي من النوع 1 والرتبة 32.5.

الجدول (5): نتائج اختبار مقاومة الضغط

المقاومة (MPa)	المجال المسموح (MPa)	S1	S2	S3	S4
عمر يومين	–	19.16	18.24	18.5	18.72
عمر 7 أيام	16 ≤	24.4	23.63	21.77	22.67
عمر 28 يوماً	32.5–52.5	29.08	34.51	31.42	31.58



الشكل (2): مقاومة الضغط بأعمار 28، 7، 2 يوماً

3 –5 عامل تشبع الكلس:

تُعدُّ مقاومة الضغط في عمر 28 يوماً، إحدى المعايير الأساسية لتقييم جودة الإسمنت. وبما أن هذه المقاومة ترتبط بشكل مباشر بتوافر سيليكات الكالسيوم وتفاعلها مع الماء، فإنه يجب حساب معامل تشبع الكلس، الذي يعطي فكرة عن توفر هذه السيليكات.

يُحسب معامل تشبع الكلس بالاعتماد على نسب الأكاسيد الموجودة في الكلينكر (الإسمنت الخام) من العلاقة الآتية [10, 11, 13]:

$$Ls = \frac{1.0(CaO) - 0.7(SO_3)}{2.8(SiO_2) + 1.2(Al_2O_3) + 0.65(Fe_2O_3)}$$

حيث تمثل القيم بين الأقواس النسب المئوية للأكاسيد.

تتراوح قيم معامل تشبع الكلس بين (0.66–1.02). تشير القيم الأعلى أو القريبة من 1.02 إلى عدم تشكل الكلس الحر عند مرور المواد الخام ضمن الفرن، أما القيم الأقل من 0.66، القريبة منه فتدل على صعوبة انصهار المواد ضمن الفرن، وأن نسبة سيليكات الكالسيوم قليلة ضمن الكلنكر.

يبين الجدول 6 قيم معامل تشبع الكلس للعينات المدروسة، حيث يُلحظ أن العينة S1 ذات عامل تشبع منخفض يعادل 0.56، وهو أقل من الحد الأدنى المطلوب. بالمقابل فإن العينة S2 ذات معامل تشبع ضمن المجال المسموح وكذلك الأمر بالنسبة للعينتين S3, S4 وان كانتا قريبتين من الحد الأدنى المسموح.

الجدول (6): قيم معامل التشبع.

	المجال المسموح	S1	S2	S3	S4
معامل تشبع الكلس	0.66–1.02	0.56	0.99	0.78	0.79

4- مناقشة النتائج:

- حققت المقاومة على الضغط لجميع العينات الحد الأدنى المطلوب في الأعمار المبكرة (7 أيام)، بالرغم من الخلل في التركيب الكيميائي لبعضها (العينة S1 مثلاً). يمكن أن يُعزى هذا الأمر لنعومة هذه العينات، حيث أن الذرات الناعمة (الأقل من 20µm) تتميه بسرعة بالإضافة لاحتوائها على نسبة كبيرة من ألومينات الكالسيوم وسيليكات الكالسيوم الثلاثية.
- انعكس خلال التركيب الكيميائي على قيم مقاومة الضغط المقاسة بعمر 28 يوماً، حيث لوحظ أن عينة واحدة (S2) حققت الحد الأدنى المطلوب. نسب الأكاسيد في هذه العينة تُعدُّ مقبولة لوقوعها ضمن المجالات المسموحة باستثناء أكسيد السيليس الذي ينخفض عن الحد الأدنى بنسبة قليلة لا تتعدى 4%. كما أن قيمة عامل التشبع الواقعة ضمن المجال المطلوب تدل على أن عملية انصهار الأكاسيد تتم بسلاسة ضمن الفرن، ومن ثمَّ تتشكل مركبات الإسمنت الخام بنسب كافية.
- أظهرت نتائج التحليل الكيميائي للعينة (S1) زيادة في نسب أكاسيد الألمنيوم والسيليس عن الحد الأعلى المسموح به، وهذا ربما يعود لإضافة مواد أخرى (كالبوزولانا) للكلينكر أثناء طحنه، علماً أنه لا يوجد أيّ إشارة لمواد مضافة من قبل المصنع على عبوات العينات المدروسة.
- يُلاحظ أن قيم المقاومة المسجلة للعينتين (S3, S4) قريبة جداً من الوصول إلى الحد الأدنى المقبول. يمكن تفسير هذه النتيجة بانخفاض نسبة أكسيد الكالسيوم بحدود 5% عن الحد الأدنى المطلوب مما انعكس سلباً على نسبة سيليكات الكالسيوم المتشكلة ضمن الإسمنت الخام، علما بأن عملية انصهار واتحاد الأكاسيد تمت بشكل طبيعي وهذا يدل عليه قيمة عامل تشبع الكلس المقبولة.
- أظهرت النتائج أهمية عامل تشبع الكلس في التعبير عن مقدار اتحاد الأكاسيد أثناء مرورها ضمن الفرن وتشكيل المركبات الأساسية المكونة للكلينكر وانعكاس ذلك عل تطور مقاومة الإسمنت مع الزمن. فعلى سبيل المثال، نلاحظ أن العينة (S1) لم تصل إلى الحد الأدنى المطلوب للمقاومة على الضغط بعمر 28 يوما، وان معمل تشبع الكلس لها أقل من الحد الأدنى المسموح و هذا يعني عدم تشكل مركبات سيليكات الكالسيوم بنسب كافية اثناء مرور المواد الخام ضمن الفرن مما انكس سلباً على اماهة الإسمنت و تطور مقاومته مع الزمن.
- أسهمت نعومة الإسمنت بتطور مقاومة العينات بالأعمار المبكرة، وبتحقيق أزمنة أخذ أولية أكبر من الحد الأدنى المطلوب، لكنها زادت الحاجة للماء، وهذا يمكن ملاحظته من خلال العينة الأكثر نعومة (العينة S1)، والتي احتاجت إلى أكبر كمية من الماء (30g) لتشكيل العجينة النظامية.

5 – خلاصة النتائج:

- اهتم هذا البحث بدراسة تأثير التركيب الكيميائي للإسمنت السوري ونعومته على خواصه الميكانيكية، ولاسيما مقاومة الضغط بمختلف المراحل العمرية. لقد أظهرت النتائج أهمية معامل تشبع الكلس في فهم أثر مركبات الإسمنت في مقاومته.

- تسهم نسبة أبعاد ذرات الإسمنت الأقل من 20µm بتسريع عمليات الإماهة ومن ثمَّ تحسين المقاومة بالأعمار المبكرة على الرغم من الخلل الكيميائي لبعض العينات. ولأن أبعاد الذرات ترتبط بمرحلة الطحن النهائية للكلينكر مع الجبس، فإنه يمكن القول إن هذه المرحلة تُنجز بشكل جيد في المعامل المعنية بالدراسة.
- ظهر أثر التركيب الكيميائي وأثر اتحاد الأكاسيد أثناء حركتها ضمن الفرن على مقاومة الضغط للعينات المدروسة بعمر 28 يوماً. فالخلل في نسب الأكاسيد الأساسية لثلاثة عينات من العينات الأربعة المدروسة، أسهم في عدم وصول مقاومتها المتأخرة إلى القيم الدنيا المطلوبة وفقاً للمواصفة EN 197-1. وهذا يشير إلى ضرورة الاهتمام بمصادر المواد الخام، وكذلك زمن حركة المواد ضمن الفرن وتعرضها للحرارة المناسبة، لانعكاسها المباشر على جودة الإسمنت المنتج.

المراجع العلمية:

1- PCA. North American Cement industry, Annual yearbook, ER405, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2016, 58.

2- R. Maddalena, J. J. Roberts, A. Hmilton. Can Portland cement be replaced by low-carbon alternative materials? A study on the thermal properties and carbon emissions of innovative cements. Journal of Cleaner production 186, 2018, 933-942.

3- G. bye. Portalnd cement. Third edition. Puplished by ICE Publishing, 40 Marsh Wall, London E14 9TP,2011, 1-25.

4- Steven H. Kosmatka and Michelle L.Wilson. Design and control of concrete mixtures, fourteenth edition, 2014, 21-53.

5- En 197-1, Cement Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements,2011, 9-45.

6- ASTM C150, Standard Specification for Portland cement,2016, 1-10.

7- ASTM C595, Standard Specification for Blended hydraulic cements, 2002, 1-7.

8- L. Hjarth, K. G. Lauren, Belite in Portland cement, cement and concrete research, Vol. 1, 1971, 20-40.

9- F. M. Lea, Modern development in the chemistry of Portland cement, Chemistry and industry, 1934, 530-541.

10- A. M. Neville, Properties of concrete, 5th edition, 2011, 8-56.

11- H. F. W. Taylor, Cement chemistry. 2th edition.1997, 1-32 .

12- R. H. Bogue. Chemistry of cement. New York, Reinhold, 1955.

13- P. K. Mehta, P. J. M. Monteiro, Concrete, microstructures, properties and materials, 3th, 2006, 205-251.

14- A. M. Neville, Role of cement in creep of mortar,J. , Amer. Concr. Inst., vol. 55, 1959, 963-984.

15- J. M. Mechling, A. Lecomte, C. Diliberto, Relation between cement composition and compressive strength of pure pastes, Cemnet & Concrete compositiones, vol. 31, 2009, 255-262.

16- V. S. Ramachandran, A test for unsoundness of cements containing magnesium oxide, Proc. 3rd Int. Conf. on the durability of building materials and components, Espoo, Finland, vol 3, 1984, 46-54.

17- S. Kelham, The effect of cement composition and fineness on expansion associated with delayed ettringite formation , Cemnet & Concrete compositiones, vol. 18, 1996, 171-179.

18- S. Kelham, Design and control of concrete mixtures, 14th, 2014, 21-53.

19- EN 196-6. Methods of testing cement-part 6: determination of fineness, 2010, 1-34.

20- EN 196-3. Methods of testing cement-part 3: determination of setting times and soundness, 2008, 1-18.

21- EN 196-1. Methods of testing cement-part 1: determination of strength, 1995, 1-29.

22- EN 196-2. Methods of testing cement-part 2: chemical analysis of cement, 1995, 1-52.

23- هيئة المواصفات القياسية والمقاييس السورية – الإسمنت: التركيب والمواصفات، 1997 / 1887.

24- هيئة المواصفات القياسية والمقاييس السورية – طرائق اختبار الإسمنت: طريقة اختبار أزمنة الأخذ وثبات الحجم، /1675 1996.

25- هيئة المواصفات القياسية والمقاييس السورية – طرائق اختبار الإسمنت: طريقة تحديد النعومة، 1673/1996.

26- هيئة المواصفات القياسية والمقاييس السورية – طرائق اختبار الإسمنت: طريقة تحديد المقاومة 1673/1996.

إيداع البحث	2020/6/30	Received
قبول البحث للنشر	2020/9/10	Accepted for Publ.