مجلة علوم البحار والتقنيات البيئية
المجلد (9)، العدد (1) (يونيو-2023)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

DOI: https://doi.org/10.59743/jmset.v9i1.152

تأثير إضافة غبار الطوب الأحمر الحراري (الياجور) على مواصفات مادة الكلنكر للإسمنت البورتلاندي

أسامة القهواجي[1، *]، رضوان الفطيسي[1]، أبو القاسم مشيري[1]، عبد الرحمن العباني[1]، سالم ابوزريبة[2]

[1)] قسم التقنيات الكيميائية، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، زليتن، ليبيا.

[2)] قسم الكيمياء، الأكاديمية الليبية، طرابلس، ليبيا.

[*] **البريد الإلكتروني:** osamah2022ghwaji@gmail.com

Effect of Adding Red Ceramic Dust on the Specifications of Clinker for Portland Cement

Osamah A. Algahwaji[1, *], Radwan Al-Futaisi[1], Abu Al-Qasim Mushairi[1], Abdul Rahman Al-Abani[1], and Salem Abu Zariba[2]

[1)] Department of Chemical Engineering, Higher Institute of Engineering Technology, Zliten, Libya.

[2)] Department of Chemistry, The Libyan Academy, Tripoli, Libya.

Received: 19 February 2023; Revised: 28 April 2023; Accepted: 10 June 2023.

الملخص

في هذه الدراسة، وضمن ما يتم التركيز عليه في الآونة الأخيرة حول الاهتمام والمحافظة بشئون البيئة، يتم استعراض نتائج عمليات خلط مخلفات وبقايا فتات الطوب الأحمر الحراري (الياجور) المتناثر غالباً في مستودعات تخزينه بالمصنع أو محلات الاتجار به مع بقايا مادة الكلنكر (Clinker) المتبقي من عمليات التعبئة في أكياس لمادة الإسمنت، حيث يتوفر مكون مشترك ضمن المكونات الرئيسية للمادتين المعنيتين بالدراسة وهي مادة الطفل (Shale). أجريت التحاليل للمكونات النهائية للخلطات في معامل التحاليل بالشركة الأهلية والاتحاد العربي للإسمنت بمدينة زليتن، وقد اشتملت التحاليل على: اختبار الشك الابتدائي، اختبار الشك النهائي، اختبار التمدد وقوي تحمل الضغط. الوزن الكلي للعينة كان 10 جم. من خلال نتائج تلك الاختبارات، فقد آلت النتائج إلى أن نسبة الإضافة بقيمة 0.2% من بقايا مادة الطوب الأحمر الحراري إلى مادة الكلنكر الإسمنتية ساهمت في إنتاج مادة إسمنتية تطابق حدود المواصفات القياسية الليبية.

الكلمات الدالة: الياجور الأحمر الحراري، كلنكر الإسمنت، زمن الشك الابتدائي والنهائي، اختبار مقاومة الضغط، اختبار التمدد.

Abstract

In this present paper, and since paying great attention to the environment, this study investigates the possibility of red ceramic pickings recycling and blending at (0.2, 0.4, 0.6, and 0.8) % by weight with Cement Clinker, and results of some tests such as initial and final setting time tests, compressive strength test, expansion test have been shown. The final results proved that blending 0.2% by weight was most appreciable as fitted with the Libyan standard specifications.

Keywords: *Red ceramic; Cement Clinker; Initial & Final setting time; Compressive strength; Expansion test.*

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

1. المقدمة

في معظم دول العالم أينما تتوفر فيها مادة خام الإسمنت، تعتبر صناعته من الدعامات الأساسية للتنمية الاقتصادية، فهو من أهم المواد التي يمكن أن تفي باحتياجات قطاع الإنشاءات من الوحدات السكنية البسيطة إلى الهياكل الكبيرة المعقدة وكذلك الأعمال الإنشائية للسدود، الطرقات العامة والجسور، والمواسير الإسمنتية والبلاط وغيرها. حيث تعد مادة الإسمنت من مكونات الخرسانة الرئيسية وتثبيت الطوب والبلاط. يتم وصف مادة الإسمنت أيضاً بأنها مادة دقيقة لينة وناعمة، وغالباً ما تتوفر على شكل مسحوق ناعم رصاصي اللون. تمتلك مادة الإسمنت خواص تماسكية وتلاصقية بوجود الماء، مما يجعلها قادرة على ربط مكونات الخرسانة بعضها البعض، وكذلك الطوب الخاص بالجدران، وتتماسك مع الرمل وحديد التسليح وأن تقاوم التأثيرات البيئة القاسية (Bye, 1983؛ الترهوني وشقلابو، 2019).

يتم صناعة الإسمنت من مصدر الكلس (Lime) كالحجر الجيري (Limestone) والحجر الطباشيري(Chalk)، وأحجار طينية رخوة يطلق عليها الطفل (Shale)، فهي المصدر الأساسي للسيليكا (Silica) والألومينا (Alumina) والحديد (Iron). حيث تعتمد جودة وخواص الإسمنت على طبيعة ذلك الخليط الأساسي (المواد الأولية الخام من الحجر الجيري والطفل) الداخل في صناعته ونسبة محتوياته، وكذلك طبيعة تصنيعه كدرجات حرقه وتنعيمه ودرجات تعرضه للهواء. حيث يؤثر ذلك على خواصه نظراً لاختلاف نسب الأكاسيد فيه طبقاً للتركيب وظروف البيئة المحيطة به، فقد يعاني نقصا أو زيادة في واحد أو أكثر من المركبات الرئيسية (سيليكات ثلاثي الكالسيوم، سيليكات ثنائي الكالسيوم، ألومينات ثلاثي الكالسيوم، وألومينات حديد رباعي الكالسيوم) (Taylor, 1997). إضافة إلى ذلك، فإن اختلاف طرق التصنيع من طرق متقدمة إلي طرق تقليدية، ووجود اختلاف بين الطريقة الجافة والطريقة الرطبة كل هذا يكون له تأثير علي جودة وخواص الإسمنت المصنع من منطقة إلي أخري، وهذا الاختلاف بدوره يؤثر على خواص الخرسانة (الطوير وأبوراوي، 2016).

تُستهل صناعة الاسمنت بشكل عام أولاً باستخراج وجلب المواد الأولية من مصدرها ومعالجة/التخلص من بعض المواد التي تضر بمواصفاته مثل المغنيسيا والفوسفات والقلويات. يلي ذلك، يتم طحن وخلط تلك المواد الأولية (طريقة رطبة/طريقة جافة)، ثم يتم إمرارها بأفران دوارة كبيرة جداً ليتم فيما بعد حرق ما ينقل إليها من تلك المواد برفع درجات الحرارة تدريجياً لتُحل بفعل ذلك الكربونات وتذوب الأكاسيد، وينتج عنها تكوين مركبات رئيسية جديدة مثل سيليكات ثلاثي الكالسيوم، سيليكات ثنائي الكالسيوم، ألومينات ثلاثي الكالسيوم، وألومينات حديد رباعي الكالسيوم. ثم تتكتل تلك المواد الناتجة إلى كرات صغيرة قطرها 3-25 ملم يطلق عليها مصطلح "الكلنكر" (Clinker). الخطوة التالية تتطلب تبريد الكلنكر بشكل سريع للحصول على مواد غير متبلورة (Amorphous materials) أو ما يعرف بالزجاج. تأتي فيما بعد مرحلة طحن الكلنكر مع الجبس (المكونة من كبريتات الكالسيوم المائية $CaSO_4.2H_2O$) لمنع حدوث التصلب الفجائي للإسمنت عند استعماله وإضافة الماء إليه. أخيراً، تأتي عملية التعبئة في أكياس وعندها يمرر تيار هوائي يعمل على إسقاط دقائق الإسمنت الناعمة بداخل الأكياس ودقائق الإسمنت الخشنة (الكلنكر) بداخل المطحنة ليعاد طحنها من جديد (الفطيسي وآخرون، 2017).

من ناحية أخرى، وفي ليبيا تحديداً، عند الحديث عن تنوع مواد البناء والتشييد، هنالك أيضاً مادة بناء وتشييد أخرى يتم استخدامها بكثرة خاصةً عند إنشاء المباني العالية لما لها من خفة في الثقل وجودة في العزل للحراري، يطلق عليها بمادة الطوب الأحمر الحراري أو الياجور (Red Ceramic)؛ تتميز غالباً بلون برتقالي محمر. يتم صناعة هذه المادة أساساً من حجر طيني رخو يطلق عليه الطفل (Shale)، المنتشر بكثرة في عديد من المواقع الجغرافية بليبيا. وفي الوقت الذي تكثر فيه الكثير مصانع الطوب

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

الأحمر الحراري (الياجور) وكذلك مستودعات بيعه والاتجار به، هنالك أيضاً تتولد كميات كبيرة من بقايا ومخلفات الطوب المحطم سواء أثناء التصنيع أو المناولة من مستودعات تخزينه التي غالباً ما ينتهي بها المطاف إلى مدافن النفايات أو إلقاءها أحياناً بطريقة غير مشروعة في مصبات الوديان والأرضي المفتوحة. تسهم تلك التصرفات في تشويه صورة البيئة ويفقدها توازنها وأحياناً تؤثر سلباً حتى على الصحة العامة.

بالرغم من أن العديد من دول العالم المتقدم تولى الاهتمام بالقضايا البيئية وتشجع على استخدام عمليات التدوير للمخلفات وبقايا صناعات مواد التشييد والبناء، إلا أن بعض دول العالم النامي لازالت غير مهتمة بهذا الجانب بشكل كافي وذلك لعدد من الأسباب أهمها عدم توفير إدارة خاصة بالنفايات الصناعية الصلبة حيث أن الأجهزة المحلية تقتصر واجباتها في تنظيف الشوارع من الأتربة والغبار ونقل المخلفات والنفايات إلى مداخل المدن وعلة جوانب الطرقات. نتيجةً لذلك يتم اقتراح إعادة تدوير مخلفات الطوب الأحمر الحراري مع مادة الكلنكر الإسمنتية ودراسة مواصفات الناتج النهائي من الناحية الفيزيائية والميكانيكية مثلما يحدث عند خلط الإسمنت بمخلفات الرخام (القطوس وآخرون، 2020)، مخلفات الركام الخشن كبديل للركام الطبيعي (طرنبة وآخرون، 2021)، ألياف الكربون (حسن، 2011) بقايا مادة الإسبستوس (روفاء، 2011) وغيرها. حيث أن خلطها بتلك المواد لا يعمل فقط على تحسين وتطوير الإسمنت بل أنه أيضاً عند التصميم والتنفيذ يقلل تكلفة الصيانة ويعمل على زيادة العمر الافتراضي للمبنى أو السكن، ناهيك عن المردود الإيجابي الذي يعود على البيئة ومكوناتها عند استغلال تلك المواد المضافة من المخلفات الصلبة الصناعية.

ففي إحدى الدراسات المحلية، قام فريق عمل القطوس وآخرون (2020) من دراسة تأثير إضافة مخلفات مصانع الرخام كبديل للركام الخشن للخرسانة المستخدمة في البناء على مقاومة الضغط والمصلية الحرارية. حيث أشارت نتائج الاختبارات إلى زيادة الخواص الميكانيكية للخرسانة بزيادة ركام مخلفات الرخام حيث سجلت مقاومة الضغط للخلطة المرجعية 36.99 ميجا باسكال. كانت نسبة الزيادة في مقاومة الضغط 27.3% عند إحلال الرخام بنسبة 100% محل الركام الخشن. بينما قلت مقاومة الضغط للخرسانة بنسبة 27.6% عند إحلال 50% فقط الرخام محل الركام الخشن. في حين اختبار الموصلية الحرارية، أشار إلى أنها انخفضت الموصلية عند الحالة الرطبة بنسبة 6% و1% عن الخلطة المرجعية وذلك عند إحلال الرخام بنسبة 100% و 50%، بينما في الحالة الجافة تم ملاحظة الزيادة في الموصلية بنسبة 3.6% و 1.2% على التوالي.

بينما قام طرنبة وآخرون (2021) بدراسة مدى إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة وذلك من خلال إضافة نسب استبدال مختلفة من (30 – 100)% كبديل عن الركام الخشن الطبيعي. أظهرت النتائج إن تلك النسب قد أثرت على خواص الخرسانة أولاً بالانخفاض الطفيف (أقل من 5%) في مقاومة الضغط، عند الاستبدال بنسبة (0 – 50)%. وبذلك أوصت الدراسة بإمكانية تدوير المخلفات الخرسانية في ليبيا واستخدامها مجدداً في صناعة خرسانة صديقة للبيئة. في حين أن دراسة حسن (2011) والتي أجريت لمعرفة تأثير إضافة كمية من ألياف الكربون للخلطة الخرسانية على مقاومة الضغط والموصلية الحرارية من خلال تحضير نماذج خرسانية بنسب ألياف الكربون (0.45%، 1.1%، 1.6%) من وزن الإسمنت ومقارنتها بنموذج مرجعي (0.0% ألياف كربون). أظهرت النتائج زيادة في العزل الحراري بينما كان هناك انخفاض في مقاومة الضغط من (6.4%) إلى (28.5%) مقارنةً بالنموذج المرجعي. في دراسة مشابهة قام روفاء (2011) بدراسة تتعلق بإضافة مادة العزل الحراري المكونة أولا من مادة الإسبستوس إلى مادة الخرسانة، ومن ثم وبشكل منفصل عن الأولى إضافة مادة الفلين إلى مادة الخرسانة بنسب (15% ، 20% ، 25% ، 30% ، 35%) واختبار مقاومة الضغط والموصلية الحرارية لهما. أظهرت

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

نتائج الدراسة إلى أن إضافة مادة الفيلين للخرسانة كانت أقل فيما يتعلق بمقاومة الضغط (12–32) نيوتن/مم^2 وكذلك الموصلية الحرارية (0.22–0.65) واط/متر.م^o من نظائرها من الخرسانة المضافة إليها مادة الأسبستوس (25–40) نيوتن/مم^2 و (0.44–0.9) واط/متر.م^o.

2. الجانب العملي

1.2. الأجهزة والأدوات المستخدمة

تطلبت هذه الدراسة مجموعة من الأجهزة والأدوات أهمها كان: ميزان حساس (Sartorius competence CP224S, Germany)، بوزن أقصى 220 جم، ووزن أدنى 0.1 مجم)، مؤقت زمني لقياس زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي، مطحنة، جهاز فيكات، خلاط كهربائي، قالب الاختبار مجهز بطول ضلع 65 سم لتكون مسافة كل وجه 50 سم، قالب لوشاتليه، حمام مائي، مخبار مدرج، جهاز الاهتزاز، ألة ضغط كهربائية، وأخيراً غرفة ترطيب.

2.2. المواد الأولية

تم الحصول على كميات من المواد المعنية بالدراسة كالتالي:

مادة الكلنكر: تؤخذ كمية من هذه المادة من مطحنة المصنع وهو أسمنت خشن يعاد إرجاعه للطاحونة عند مرحلة التعبئة في أكياس. يجمع على هيئة كرات بلورية متفاوتة الأحجام من (3–25) مم.

مادة الجبس: تم أخذ كمية منه ($CaSO_4.2H_2O$) من موقع تخزينه بداخل المصنع وهو على هيئة كرات بلورية بأحجام متفاوتة.

مخلفات وبقايا الطوب الأحمر الحراري (الياجور): تم تجميع كمية منه عند موقع بيعه بالمدينة وهو على هيئة فتات بأحجام متفاوتة.

3.2. طريقة التحضير

بدايةً، تم تحضير الخليط المكون من (مادة غبار الكلنكر مع غبار الطوب الأحمر الحراري) بنسب وزنية مختلفة، هذا الخليط تم تحضير مكوناته الرئيسية كالآتي:

- يتم طحن كل مادة من مواد الخلط على حده وبشكل مماثل من حيث الحجم والنعومة وذلك بإحدى مطاحن المصنع.
- يتم دراسة وتحليل مكونات كل مسحوق بواسطة جهاز مطياف أشعة سين المفلورة X-ray fluorescence.
- يتم خلط مادة الطوب الأحمر الحراري (الياجور) بعدة نسب وزنية مع مادة الكلنكر (0.2%+8.9%، 0.4%+9.6%، 0.6%+9.4%، 0.8%+9.2% على التوالي)، لتعمل معاً ما مقداره 10 جم فقط.
- يتم أخذ كل نسبة على حده وخلطها وطحنها جيداً لمدة 125 ثانية بعد أن يتم إضافة كرات من مادة السيليلوز التي تساعد على تماسك العينة.
- بعد الاطلاع على المواصفات القياسية الليبية، يتم إضافة كمية معينة من الجبس للخليط المعني بالدراسة.
- يتم وضع العينات في قالب من نوع خاص لاختبار الضغط المقدر بحوالي 200 كيلو نيوتن.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

- يتم سحب العينة من قالب الضغط ومسحه جيداً بشكل يراعي فيه عدم خدش سطح العينة ليتم نقلها بعد ذلك إلى جهاز مطياف أشعة إكس المفلورة (X-ray fluorescence spectroscopy) لتحديد المعادن وتراكيزها بالعينات ذات النسب الوزنية المختلفة.

3. الاختبارات المعملية

1.3. اختبار الشك الابتدائي والنهائي

نظرياً، يعتبر زمن الإعداد الأولي للخرسانة هو الفترة الزمنية بين إضافة الماء إلى الإسمنت حتى تفشل إبرة المقطع المربع 1 مم في اختراق عجينة الإسمنت الموضوعة في قالب فيكات على بعد 5 مم إلى 7 مم من قاع القالب. بالمقارنة يعتبر زمن الإعداد النهائي هو تلك الفترة الزمنية بين وقت إضافة الماء إلى الإسمنت والوقت الذي تترك فيه الإبرة 1 مم أثراً على العجينة في القالب ولكن المرفق 5 مم لا يترك أي أثر. بينما من الناحية التطبيقية، فإن الاختبار لتحديد زمني الشك الابتدائي والنهائي لعجينة ذات قوام قياسي، يعمل على تحديد مدى صلاحية الإسمنت للاستخدام. حيث يساعد تعيين زمن الشك الابتدائي على معرفة الزمن الذي تبدأ الخرسانة بعده في الشك ولا يمكن صبها أو تشكيلها، بينما يساعد تعيين زمن الشك النهائي على معرفة الزمن الذي تبدأ عنده الخرسانة في التصلد. تتضمن المواصفة القياسية الليبية (م.ق.ل. 340: 2009) قيمة زمن شك ابتدائي على أقل تقدير 45 دقيقة وألا تزيد قيمة زمن الشك النهائي عن 10 ساعات وذلك للإسمنت البورتلاندي (المواصفات القياسية الليبية رقم 97:340 لسنة 1997).

1.1.3. خطوات العمل:

لتعيين زمن الشك الابتدائي، يتم إضافة وخلط كمية 128 مللتر من الماء المقطر لكمية من خليط العينة المعنية بالاختبار المكونة من (مسحوق الكلنكر، جبس، مسحوق بقايا الياجور) وقدرها 450 جم وتخلط جيداً لمدة 3 دقائق، يلي ذلك يتم ملئ القالب (قالب فيكات) بتلك العينة المخلوطة وتسوية سطحها جيداً. ينقل قالب فيكات لغرفة الترطيب لمدة 3 ساعات. يوضع قالب فيكات في مكانه بجهاز فيكات وتدلى الإبرة ببطء وحرص شديد حتى تمس سطح العجينة وتترك لتنفذ الإبرة راسياً في العجينة ويقرأ التدرج الذي يدل على المسافة بين قاعدة القالب ونهاية الإبرة ويسجل الزمن من بداية الخلط (صفر القياس) حتى تصل الإبرة إلى بعد 1.5 مم من قاعدة القالب كزمن الشك الابتدائي لأقرب 5 دقائق.

لتحديد زمن الشك النهائي، تستبدل الإبرة بإبرة جهاز فيكات المثبت بنهايتها الجزء الدائري ثم تدلى الإبرة ببطء حتى تمس سطح العجينة وتترك حرة لتنفذ في العجينة وتكرر الخطوات السابقة على أن يتم زيادة الفترة بين اختبارات الغرز إلى 30 دقيقة. يلي ذلك، يتم تسجيل الزمن لأقرب 5.0 دقائق من بدء القياس حتى نفاذ الإبرة لمسافة 0.5 مم كزمن شك نهائي وهو الزمن الذي يمضي من لحظة إضافة الماء للإسمنت الجاف (المادة المخلوطة المعنية بالدراسة) إلى اللحظة التي تترك أبرة جهاز فيكات أثراً لها ولا يظهر أي تأثير للجزء الدائري المثبت في الجهاز.

2.3. اختبار مقاومة الضغط (مقاومة التكسير)

يعبر عن مقاومة الضغط/مقاومة التكسير بمدى قدرة المادة الإسمنتية الخرسانية على حمل الأحمال على سطحه دون أي تشقق أو انحراف نتيجة الضغط المطبق عليه، وتعتمد قوة ضغط المادة الإسمنتية على عدد من العوامل مثل نسبة الماء إلى الإسمنت وقوة

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

الإسمنت وجودة المواد المكونة للقالب. ويعتبر اختبار خاصية مقاومة الضغط أحد أهم الخواص الميكانيكية لكونها تعطي صورة شاملة عن نوعية الخرسانة المعدة للإنشاء ودليل جيد لمعظم خواصها الأخرى لأن لها التأثير المباشر على تصميم وبناء المنشآت. بالتالي غالباً ما يكون اختبار كافي يكتفي به خبراء الإنشاءات لتقدير الجودة (Neville, 1995).

1.2.3. أجهزة ومعدات الاختبار:

يشتمل هذا الاختبار مجموعة من الأدوات أهمها: قوالب بطول ضلع 65 سم مصنوع من معدن لا يتأثر بالإسمنت، جهاز هزاز، جهاز لرطوبة، حوض مائي، وآلة ضغط عالي.

2.2.3. مكونات العينة للاختبار:

تتكون خلطة الاختبار من: 450 جم من مسحوق الإسمنت المعني بالدراسة، 225 مللتر من الماء المقطر، وأخيراً 320 جم من الرمل القياسي.

3.2.3. خطوات العمل:

يتم إضافة الماء المقطر (225 مللتر) لكمية وقدرها 450 جم من خليط العينة الإسمنتية المعنية بالدراسة وخلطهما جيداً (حتى التجانس في المظهر) بواسطة الخلاط الكهربي لمدة 2–3 دقائق. يلي ذلك، إضافة الرمل القياسي عبر فتحة أعلى الخلاط ليتم تشغيل الخلاط مرة أخرى لمدة 1.0 دقيقة. الخطوة التالية تتطلب إفراغ الخلطة في القوالب (بعد طلاء الأوجه الداخلية للقالب بالزيت لمنع حدوث أي التصاق بين العينة وجدار القالب) بالتساوي بكمية قدرها 300 جم وتسوية أسطح القوالب بواسطة مسطرة وذلك لإزالة العجينة الزائدة. تنقل القوالب إلى جهاز الاهتزاز (بعد تثبيتها بإحكام) وتشغيله لمدة ما بين (400–1200 لفة في الدقيقة). ينقل القالب من جهاز الاهتزاز إلى جهاز الرطوبة المجهز سلفاً برطوبة قدرها ما بين (90–94) % ودرجة حرارة تتراوح ما بين (18–20) م^0 ويترك لمدة 24 ساعة. يلي ذلك، تنقل العينات إلى الحوض المائي وتغمر بداخلها. تعاد الخطوات للحصول على عدد 6 قوالب ليتم اختبار 3 قوالب منها بعد 7 أيام و3 قوالب بعد 28 يوم.

3.3. اختبار التمدد

المقصود باختبار التمدد على انه مقدار تمدد عجينة الإسمنت في الظروف العادية وتعيين مقدار تمدد عجينة الإسمنت تحت ظروف درجات الحرارة العالية 100م^0. ويستخدم غالباً جهاز لوشاتيليه المصنوع من النحاس الأصفر في حساب وتعيين معامل التمدد حيث يتم خلط 100 جم من العينة المعنية بالاختبار مع كمية من الماء اللازمة أو أخذ كمية لازمة لتعبئة قالب الجهاز من نفس العينة المعنية بالاختبار الأول، أي اختبار زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي.

1.3.3. أدوات وأجهزة الاختبار:

يتطلب الاختبار جهاز لوشاتيليه لاختبار التمدد، حمام مائي مزود بمسخن وأخيراً لوحين من الزجاج السميك وعدد من الأثقال الفولاذية.

2.3.3. خطوات العمل:

في هذا الاختبار يتم دهن الجدار الداخلي ولوحا الزجاج بزيت مناسب، يوضع القالب الفولاذي فوق أحد اللوحين الزجاجيين ثم يملأ القالب بالعجينة الإسمنتية بلطف كي يحافظ على الشق في وضعه الطبيعي. يلي ذلك، يغطى القالب بلوح الزجاج الأخر ويوضع فوقه الثقل المناسب. يوضع القالب في جهاز خاص للرطوبة لمدة يوم كامل (24 ساعة) تحت ظروف حرارية ما بين (20)

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

م° و90% رطوبة. يوضع القالب في ماء بدرجة حرارة 36 م° لمدة 20–30 دقيقة. يرفع القالب من الماء وتقاس المسافة بين طرفي المؤشرين (ف 1) إلى أقرب 0.5 مم. يغمر القالب في الماء الساخن لمدة 25–30 دقيقة ثم ترفع حتى درجة الغليان ويترك القالب هناك لمدة ساعة واحدة على الأقل. يرفع القالب من الماء ويترك ليبرد حتى درجة حرارة الغرفة. تقاس المسافة بين طرفي المؤشرين (ف2) إلى أقرب 0.5 مم. للتأكيد على النتائج يعاد الاختبار مرتين أخريين على أقل تقدير.

4. النتائج والمناقشة

وفقاً للنتائج المدونة بجدول (1) وبعد الاطلاع على نتائج جميع العينات المعنية بالتحليل والدراسة وتحديد نسبة المعادن بكل واحدة منها، فقد كان بالإمكان اختيار العينة ذات الأفضلية بعد مقارنتها بالعينة القياسية (وفق المعايير الليبية). ونتيجة لذلك فقد كانت العينة ذات النسبة 0.2% من مادة الطوب الأحمر الحراري +9.8% من كلنكر الإسمنت تتميز بأفضلية عن نظائرها. من خلال نتائج اختبار زمن الشك الابتدائي وزمن الشك النهائي فقد كانت المسافة بين قاع الإناء وقمة الإبرة قدرت بحوالي 8 مم وأن متوسط قيم تلك الاختبارات على التوالي هما ساعتين وسبعة عشر دقيقة وثلاث ساعات وأربعون دقيقة. وعليه فإن تلك النتائج في توافق مع معايير وحدود المواصفات الليبية (97:340) التي تنص على أن المادة الإسمنتية (أياً كان مكوناتها) بألا يقل زمن الشك الابتدائي فيها عن 45 دقيقة وألا يزيد زمن الشك النهائي فيها عن 10 ساعات، الأمر الذي يساعد في نقل وصب ومناولة المادة الإسمنتية بكل راحة وأمان (المواصفات القياسية الليبية رقم 340:97 لسنة 1997). في حين أن اختبار مقاومة الضغط الذي يعد أهم خاصية وكونها غالباً ما يكتفي بنتائجها الخبراء لتقدير الجودة أظهر أن متوسط القيم المسجلة في الجداول (3–5) قد حققت النسبة المطلوبة وهي 75% من المقاومة التصميمية المطلوبة بعد 3 أيام، 7 أيام، و28 يوم حيث كانت تساوي 22.5 نيوتن/م^2 و29.9 نيوتن/م^2 و51.0 نيوتن/م^2 على التوالي وهي جميعها بذلك تقع ضمن حدود المعايير الليبية والتي تشير بألا تقل مقاومة الضغط عن 18 نيوتن/م^2 و26 نيوتن/م^2 و45 نيوتن/م^2. وأخيراً وليس أخراً، تضمنت المواصفة الليبية معيار تمدد لعجينة الإسمنت القياسية وقدره ألا يتعدى 3 مم، وعند المقارنة بمتوسط نتائج القيم المسجلة في جدول (6) فقد تبين أن جميعها في توافق كبير مع ذلك.

جدول 1. نتائج التحليل لمكونات المساحيق (الخلطات) باستخدام مطياف أشعة إكس المفلورة

رقم العينة	النسبة ياجور:كلنكر	التحليل الكيميائي ونسب تراكيز كل مادة			
		C4AF ألومينات حديد رباعي الكالسيوم	C3A ألومينات ثلاثي الكالسيوم	C2S سيليكات ثنائي الكالسيوم	C3S سيليكات ثلاثي الكالسيوم
1	9.8 : 0.2	0.83	7.75	13.18	84.70
2	9.6 : 0.4	0.90	8.90	14.3	86.90
3	9.4 : 0.6	0.98	9.30	15.6	87.90
4	9.2 : 0.8	1.10	9.60	17.2	88.30

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

جدول 2. نتائج اختبار زمن الشك الابتدائي والنهائي

رقم العينة	زمن الشك الإبتدائي	زمن الشك النهائي
1	ساعتان و 15 دقيقة	3 ساعات و 30 دقيقة
2	ساعتان و 18 دقيقة	3 ساعات و 40 دقيقة
3	ساعتان و 20 دقيقة	3 ساعات و 48 دقيقة
متوسط القيم	**ساعتان و 17 دقيقة**	**3 ساعات و 40 دقيقة**

جدول 3. نتائج أختبار مقاومة الضغط /كقاومة التكسير لمدة 3 أيام

رقم العينة	مقاومة الضغط / مقاومة التكسير (نيوتن/م^2)
1	22.4
2	22.7
3	22.6
متوسط القيم	**22.5**

جدول 4. نتائج أختبار مقاومة الضغط / مقاومة التكسير لمدة 7 أيام

رقم العينة	مقاومة الضغط / مقاومة التكسير (نيوتن/م^2)
4	29.8
5	30.1
6	29.9
متوسط القيم	**29.9**

جدول 5. نتائج اختبار مقاومة الضغط / مقاومة التكسير لمدة 28 يوم

رقم العينة	مقاومة الضغط / مقاومة التكسير (نيوتن/م^2)
7	51.4
8	50.8
9	51.2
متوسط القيم	**51.1**

جدول 6. نتائج اختبار التمدد

رقم العينة	المسافة في الماء البارد مم	المسافة في الماء الساخن مم	مقدار التمدد مم
1	1.2	2.5	1.3
2	1.1	2.4	1.3
3	1.3	2.6	1.3
متوسط القيم	**1.2**	**2.5**	**1.3**

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

5. الاستنتاجات

وفق ما تم الحصول عليه من نتائج معملية بخصوص مجموعة من الاختبارات مثل اختبار الشك الابتدائي والنهائي، اختبار الضغط . واختبار التمدد لعدد من خلطات المزج الجزئي للكلنكر بغبار فتات الطوب الأحمر الحراري (الياجور) ، تم إيضاح عدد من الاستنتاجات أهمها:

- كان هنالك إمكانية مطابقة للمواصفات الليبية فيما يخص صناعة الإسمنت عند تعويض ما نسبته 0.2% من غبار مخلفات وفتات الطوب الحراري الأحمر (الياجور) مع الكلنكر الإسمنتي.
- أن خلط مخلفات وفتات الطوب الأحمر الحراري مع ماد الكلنكر الإسمنتية يمكن أن تكون ذو منفعة كبيرة جداً تصب في عدة اتجاهات أهمها على الاتجاه البيئي.
- أن متوسط قيم زمن الشك الابتدائي والنهائي لتلك النسبة المئوية (0.2%) من الطوب الأحمر الحراري (الياجور) المضافة للكلنكر مطابقة لحدود المواصفات الليبية (97:340) ولا ضرر في عملية التنقل والصب والمناولة بالنسبة للإسمنت المعوض ببقايا الياجور.
- أن متوسط قيم مقاومة العينة للضغط المتحصل أيضاً يتوافق مع معايير وحدود المواصفة الليبية، وأن ذلك يمكن أن يعطي مؤشر وصورة شاملة عن نوعية وجودة الخرسانة المعدة للإنشاء ودليل جيد لمعظم خواصها الأخرى.

6. التوصيات

توصي هذه الدراسة بالسعي نحو الاهتمام والمحافظة على البيئة ورفع المردود الاقتصادي للمصانع الخاصة بصناعة الإسمنت، وذلك من خلال عمليات إعادة التدوير لفتات وحطام الطوب الأحمر الحراري (الياجور) وكذلك كلنكر الإسمنت. حيث أن نتائج هذه الدراسة وتوافقها جيداً مع المعايير الليبية لصناعة الإسمنت (م.ق.ل. 340: 2009) يشجع المستثمرين في مجالات الصناعة والمهتمين بشئون البيئة في اتجاه إعادة التدوير لما لها من فوائد سواء في الجانب الاقتصادي أو البيئي.

المراجع

أولاً: المراجع باللغة العربية

الترهوني، إيمان ع.؛ شقلابو، نور الدين م. (2019). تأثير اختلاف مصدر الإسمنت على مقاومة الضغط للخرسانة، *المؤتمر الثاني للعلوم الهندسية والتقنية*، 29–31 أكتوبر، صبراته، ليبيا.

القطوس، أيمن س.؛ ورغ، فيصل ص.؛ بلغو، أحمد ر. (2020). تأثير إضافة مخلفات مصانع الرخام كبديل للركام الخشن للخرسانة المستخدمة في البناء على مقامة الضغط والموصلية الحرارية، مجلة الشروس، العدد الأول، جامعة نالوت.

الفطيسي، رضوان س.؛ مشيري، أبولقاسم م.؛ اللعباني، عبد الرحمن ع. (2017). تقييم إضافة مادة بقايا الياجور الأحمر إلى الكلنكر، دراسة مقدمة لاستكمال متطلبات الدبلوم العالي الهندسي التقني، المعهد العالي للتقنيات الهندسية، زليتن، ليبيا.

طرنبة، عبد المنعم س.؛ عبدالقادر، محمد ع.، الباشا، نوري م.؛ المحروق، محمد ع. (2021). دراسة تأثير إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في إنتاج خرسانة صديقة للبيئة. *المؤتمر العلمي الرابع للعلوم الهندسية والتقنية*، 14–16، ديسمبر، زليتن، ليبيا.

ISSN (Print): 2413-5267
ISSN (Online): 2706-9966

روفاء، فارس م. (2011). دراسة تأثير إضافة حبيبات مواد عازلة للحرارة إلى الخرسانة المستخدمة في البناء على الموصلية الحرارية ومقاومة الانضغاط. مجلة التقنية، 24(2).

حسن، قيس ف. (2011). دراسة تأثير كمية من ألياف الكربون المضافة على الموصلية الحرارية ومقاومة الضغط للخرسانة. كلية التقنية، كركوك، العراق.

المواصفات القياسية الليبية رقم (340:97) (1997). الإسمنت البورتلاندي. المركز الوطني للمواصفات والمعايير القياسية، طرابلس، ليبيا.

الطوير، نور الدين م.؛ أبوراوي، مختار م. (2016). دراسة مقارنة تأثير مصادر الإسمنت على خصائصه الفيزيائية والكيميائية. المؤتمر الوطني السادس لمواد البناء والهندسة الإنشائية، 29-2016/03/30، غريان، ليبيا.

ثانياً: المراجع باللغة الإنجليزية

Bye G.C. (1983). *Portland Cement-Composition, Production and Properties*. The Institute of Ceramics, Pergamum Press, USA.

Neville A.M. (1995). *Properties of Concrete*, 4th ed. Longman.

Taylor H.F.W. (1997). *Cement Chemistry*, 2nd ed. Thomas Telford Publishing, London, UK.