تأثير استخدام مخلفات القرميد الأحمر على بعض الخواص الميكانيكية والحرارية للخرسانة ذات الحصويات معادة التدوير في سورية

فاطمة الصالح[1]، سهيل الجنزير[2]، عبد الحكيم بنود[3]
[1] قسم هندسة المواصلات، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب
[2] قسم الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب
[3] قسم الهندسة البيئية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

Received: 09/05/2020
Accepted: 03/07/2020

المستخلص- تم في هذ البحث دراسة تأثير استخدام مخلفات القرميد الأحمر المكسرة على بعض الخواص الميكانيكية والحرارية للخرسانة ذات الحصويات معادة التدوير في سورية مثل مقاومة الضغط، مقاومة الشد، معامل المرونة، الإيصالية الحرارية. حيث تم استبدال قسم من الحصويات الخشنة (البحص) والرمل الخشن حتى قطر 2.38 مم الداخلة في تركيب خرسانة العينة المرجعية (التي تتكون من 30% حصويات معادة التدوير و70% حصويات كلسية طبيعية) بحصويات القرميد الأحمر المكسر بنسب 20%، 40%، 60%، 100%. بعد تنفيذ هذه الخلطات تم قياس بعض مواصفات الخرسانة الناتجة وهي: الكثافة، مقاومة الضغط، مقاومة الانعطاف بالشد وبالفلق، معامل المرونة وكذلك الايصالية الحرارية. أظهرت النتائج أن مقاومة الضغط والانعطاف والفلق تزداد مع زيادة نسبة الاستبدال بالقرميد الأحمر إلى قيمة أعظمية ومن ثم انخفاضها حيث كانت النسبة 45%، 72%، 70% على التوالي توافق القيم الأعظمية للمقاومة على الضغط، المقاومة على الشد بالانعطاف، والمقاومة على الشد بالفلق. وامكن الحصول على خلطات خرسانة ذات إيصالية حرارية أقل من 0.3 W/m.K مما يمكن اعتبارها عازلة للحرارة وفق كود العزل الحراري السوري وبالتالي يمكن استخدامها في عزل الجدران والأسقف، تحتوي هذه الخلطات في حصوياتها الخشنة حتى القطر 2.38 mm على نسبة قرميد تزيد عن 52%. كذلك أظهرت النتائج نقصان الايصالية الحرارية مع زيادة نسبة الاستبدال بالقرميد بشكل اكثر حدة من الايصالية المحسوبة بالعلاقة التي يعطيها ACI، وتم ايجاد علاقة شبيهة جديدة للإيصالية الحرارية لخلطات الخرسانة الحاوية على مخلفات القرميد الاحمر.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة، الأنقاض، حصويات القرميد المعاد تدويره، مقاومة الضغط، مقاومة الانعطاف، مقاومة الفلق، الايصالية الحرارية.

Abstract- In this study, the effect of using crushed red brick waste on some mechanical and thermal properties of recycled aggregate concrete in Syria such as pressure resistance, tensile strength, elastic modulus, thermal conductivity has been studied. Where a portion of coarse aggregate (gravel) and coarse sand up to the diameter of 2.38 mm included in the composition of the reference concrete mixture aggregate (consisting of 30% recycled gravel and 70% natural limestone gravel) has been replaced by crushed red brick aggregate by 20%, 40%, 60%, 100%. After implementing these mixtures, some of the resulted concrete properties such as: density, compressive strength, bending strength, splitting strength, as well as thermal conductivity has been measured. The results showed that compressive, bending, and splitting strength increase with the increase in of red brick replacement ratio to a maximum value, and then decreasing, where the replacement ratios of 45%, 72%, and 70%, respectively correspond with compressive, bending, and splitting maximum strength. concrete mixtures with a thermal conductivity less than 0.3 W / m.K have been obtained, which can be considered as heat insulating according to Syrian Thermal Insulation Code, thus it can be used to insulate walls and ceilings, these mixtures contain crushed red brick aggregate ratio greater than 52% in their coarse aggregate (gravel) and sand up to the diameter of 2.38 mm. The results also showed that thermal conductivity more sharply decrease than the conductivity calculated by relation given by ACI as the replacement ratio increase. A similar new relation has been found for the thermal conductivity of concrete mixes containing red brick aggregate.

المقدمة

خلال الستين سنة الماضية، تزايدت كمية النفايات التي ينتجها الشخص الواحد من 180كغ سنويا في عام 1960إلى 440 كغ في عام 1998 ووصلت إلى 515 كغ في عام 2011 [1] ، وتبين أن حجم مخلفات البناء والهدم كبير في معظم دول العالم ففي دراسة منجزة من قبل مكتب حماية البيئة الأمريكي (USEPA (2009، قدر أن حوالي 170 مليون طن من مواد البناء والهدم C&D المتعلقة بالمباني قد تم إنتاجها في الولايات المتحدة خلال عام 2003. [2]. وتزداد كمية مخلفات البناء والهدم بشكل كبير جداً في حالات الكوارث والحروب، فبنتيجة الحرب على سورية خلال السنوات الماضية تولدت كميات كبيرة من الأنقاض ومخلفات الهدم سيكون لها تأثيرات بيئية ضارة إذا تم التخلص منها في مكبات عشوائية. بينما يمكن الحد من هذه الآثار بجعل استخدام هذه النفايات أكثر استدامة. تشكل عملية التخلص من هذه الأنقاض عبئاً اقتصادياً وبيئياً وخدمياً كبيراً إضافة لكونها تشكل عائقاً كبيراً أمام عملية البدء بإعادة الإعمار [3].

تعتبر إدارة النفايات واحدة من أولويات كل مجتمع وأصبح من الواضح أن الإدارة الجيدة للنفايات يمكن أن تعزز جودة الحياة. ويستند مبدأ الإدارة الجيدة للنفايات على خفض إنتاجها، وإيجاد طرائق لإعادة استخدامها أو تدويرها [4]. وقد أصبح تدوير مخلفات البناء والهدم كمواد حصوية منتشراً بشكل واسع، ويعود ذلك للأضرار البيئية والكلفة الاقتصادية لعمليات استخراج المواد الحصوية من المقالع، وارتفاع كلف النقل وأجور التخلص من مخلفات البناء والهدم في مطامر النفايات، ومن بين الأسباب الأخرى حوافز تطبيق المنشآت والمباني المستدامة. تم العمل على إعادة تدوير الانقاض في سورية وخاصة في مجال تصنيع حصويات معادة التدوير واستخدامها في انتاج مواد بناء مختلفة، وقد تم العمل على تحسين الخواص الحرارية لبعض هذه المواد بإضافة بعض المواد المحلية [5,6]. ويمكن استخدام القرميد المكسر الناتج من مخلفات الهدم كمواد حصوية في صناعة خرسانة جديدة تتمتع بخواص حرارية أفضل من الخرسانة التقليدية مما يقلل من مشاكل طمرها ويترافق مع تأثير إيجابي على الاقتصاد أيضاً.

يصنع القرميد من الطين أو الغضار، ويخلط الطين أو الغضار الجاف مع الرمل بنسبة 25-30% لتقليل الانكماش ويطحن جيدا ثم يخلط بالماء بالنسب الضرورية ثم يضغط بقوة في قوالب من الصلب ويحرق في أفران بدرجة حرارة 1000 درجة مئوية للحصول على الصلابة المطلوبة. ويمكن الحصول على مواصفات خاصة للقرميد بإضافة مواد أخرى مثل الجص أو الاسمنت أو مواد كيميائية أخرى كما يمكن التحكم بدرجة الحرارة في الأفران للحصول على مواصفات معين [7] . تتصف مخلفات القرميد الأحمر بكثافة منخفضة وبامتصاصية مرتفعة مقارنة مع المواد الحصوية الطبيعية.

يستخدم القرميد الأحمر الى حد كبير في اكساء الأبنية ضمن المدن والأرياف السورية ومنها مدينة حلب حيث يؤمن حماية من تسرب المياه والحرارة من الاسطح الى داخل المبنى كما يستخدم بشكل خاص في اكساء وعزل الاسطح المعدنية.

ونتيجة للأزمة التي عانت منها مدينة حلب فقد نتج الكثير من مخلفات الهدم ومنها كسارة القرميد الأحمر، ومن الرغبة بإعادة تدوير أكبر طيف ممكن من المواد الموجودة في الأنقاض جاءت الحاجة لاستثمار هذه المخلفات القرميدية المرمية واعادة تدويرها واستخدامها في تصنيع خرسانة ذات خواص عازلة حرارية مما يساهم في حفظ الطاقة ضمن المباني وتحقيق الاستدامة.

يهدف البحث إلى تحديد بعض المواصفات الميكانيكية والحرارية للخرسانة الناتجة عن استخدام نسب من الحصويات معادة التدوير من الأنقاض ومع نسب مختلفة من كسارة القرميد الأحمر الناتج عن أنقاض بعض المباني الخاصة أو مرفوضات معامل صناعة القرميد في سورية وبيان تأثير نسب كسارة القرميد الأحمر على كل من: الكثافة، مقاومة الضغط ومقاومة الشد بالانعطاف والفلق ومعامل المرونة كخواص ميكانيكية، ومعامل الإيصالية الحرارية الذي يعتبر أهم الخواص الحرارية. ودراسة علاقة هذه الخواص ببعضها البعض.

الدراسات المرجعية

قام العديد من الباحثين بدراسة تأثير استخدام مخلفات القرميد على الخرسانة فيما يلي بعض منها:

- دراسة للباحث Farid Debieb وSaid Kenai بعنوان " استخدام كسارة القرميد الخشنة والناعمة كمواد حصوية في الخرسانة" [8]:

تم استخدام كسارة القرميد الخشنة والناعمة في خلطة خرسانة جديدة، مع نسبة استبدال جزئي للرمال والحصويات الخشنة (25%، 50%، 75 %، 100%)، وتمت مقارنة مقاومة الضغط والانعطاف بعد 90 يوم للعينات التي تم فيها الاستبدال مع العينة المرجعية ذات الحصويات الطبيعية، كما تم تحديد المسامية وامتصاص الماء. وبينت النتائج امكانية استبدال 25% من الحصويات الخشنة و50% من الرمال دون تأثير خطير على المواصفات الميكانيكية للخرسانة.

- دراسة للباحثة ايفانا كيسجيك وزملائها بعنوان " تدوير القرميد الغضاري كمواد حصوية للخرسانة" [9]:

بينت الدراسة أن الخرسانة مع مواد حصوية من القرميد المعاد تدويره تتصف بمقاومة ضغط أقل نسبياً من الخرسانة ذات الحصويات الطبيعية. ويعزى ذلك إلى الامتصاص المرتفع للماء من قبل المواد الحصوية المعاد تدويرها من كسارة القرميد المستخدمة مقارنة مع المواد الحصوية الطبيعية. وأظهرت الدراسة أن زيادة معدل استبدال الحصويات الطبيعية بالقرميد يقلل من مقاومة الضغط وكان الانخفاض في مقاومة الضغط بعد 28 يوماً في حدود 10-35٪ للخرسانة ذات الحصويات المعاد تدويرها مقارنةً بالخرسانة العادية حيث ذكرت الدراسة أن مقاومة الضغط للخرسانة بعد 28 يوماً مع حصويات من القرميد الغضاري المعاد تدويره تتراوح بين 20 و40 ميغا باسكال كما اتصفت هذه الخرسانة بكثافة قليلة مقارنة مع الخرسانة التقليدية.

- دراسة للباحث مشتاق صادق راضي، بعنوان "تأثير إضافة الطابوق المكسر على بعض خواص الكتل الخرسانية المجوفة المحملة" [10]:

تم في هذا البحث دراسة تأثير استخدام القرميد المكسر كبديل عن المواد الحصوية الخشنة على بعض خواص الكتل الخرسانية المجوفة الحمالة حيث تم انتاج كتل خرسانية بأبعاد (300x150x150) ملم، وبنسب خلط اسمنت الى مواد حصوية اعتيادية 6:1 ومن ثم تم استبدال المواد الحصوية الخشنة الاعتيادية بالقرميد المكسر وبنسب حجمية (25%، 50%، 100%) ومن ثم دراسة تأثير الاستبدال على بعض خواص الكتل الخرسانية المنتجة مثل مقاومة الضغط والكثافة والعزل الحراري والعزل الصوتي بأعمار (7 و14 و28) يوم. وبينت الدراسة إمكانية استخدام القرميد المكسر كحصويات خشنة في انتاج كتل خرسانية مجوفة تستخدم في الجدران الحاملة للاثقال الداخلية أو الجدران الحاملة للأثقال الخارجية المحمية من الظروف الجوية والرطوبة حيث كانت أفضل نسبة استبدال للقرميد المكسر كبديل عن المواد الحصوية الاعتيادية في انتاج الكتل هي 50% حيث تم تحسين الكثافة والعزل الحراري مع المحافظة على الخواص الأخرى مثل مقاومة الضغط وامتصاص وعزل صوتي ضمن الحدود المقبولة.

- دراسة للباحث سلام سمعان عبد الأحد. بعنوان "استخدام كسر الطابوق الطيني المعاد كبديل عن الحصى في انتاج بلوك نمطي اقتصادي" [11]:

تم في هذا البحث انتاج كتل خرسانية بأبعاد (125*250*250) ملم، مصنوعة باستخدام كسر الطابوق الطيني (القرميد) كمادة تخلط مع الرمل والاسمنت وبدون الحصى. واستخدمت نسب 40-65 % من كسر الطابوق في حجم الخلطة الخرسانية، وركز البحث على العزل الحراري والصوتي. وبينت الدراسة زيادة قيمة العزل الحراري للبلوك المصنع مع كسارة الطابوق الطيني بمقدار 70-80% عن ايصالية البلوك الخرساني الاعتيادي.

- دراسة للباحث علي حسين علي وزملائه بعنوان "إنتاج كتل بنائية خفيفة الوزن باستخدام كسر حجر الحلان كركام ناعم وكسر الطابوق الطيني كركام خشن" [12]:

تم إنتاج كتل خرسانية صلدة باستخدام الركام المكسر الناتج من تقطيع مخلفات الحجر الجيري كبديل عن الركام الناعم الطبيعي (الرمل النهري) وكذلك استخدام كسر الطابوق الطيني المتوفر ايضا بوصفه مخلفات ناتجة عن عمليات نقل وتحميل وتفريغ الطابوق كبديل عن الركام الخشن (الحصى النهري الطبيعي). وتبين إمكانية استخدام مخلفات الحجر الجيري وكسر الطابوق الطيني كبديلين عن الرمل والحصى النهري الطبيعي على التوالي بشكل ناجح ومقبول في انتاج كتل بنائية خرسانية ذات مقاومة ضغط مقبولة، وكثافة جافة اقل بنسبة (22.6%)، وإيصالية حرارية أقل بنسبة 48.5 % وعزل صوتي اعلى بنسبة (25%)، وقابلية امتصاص اعلى بنسبة (8.9%) عند مقارنتها مع مثيلاتها من الخرسانة المنتجة بالركام النهري الطبيعي.

-دراسة للباحثين Layachi Berredjem, Nourredine Arabi, Laurent Molez بعنوان:

"مساهمة في دراسة مؤشرات ديمومة الخرسانة المحتوية على مواد حصوية معاد تدويرها"

"Contribution à l'étude des indicateurs de durabilité des bétons à base des granulats recycles" [13]:

حيث بين الباحثون أن المقاومة الميكانيكية للخرسانة تتعلق بالمواصفات الميكانيكية للمواد الحصوية وإن المقاومة الميكانيكية للخرسانة المحتوية على مواد حصوية معاد تدويرها أقل من مقاومة الخرسانة ذات المواد الحصوية الطبيعية لكن مع فارق ليس كبير فقط 4 MPa عند عمر 28 يوم وحتى 10 MPaعند عمر 6 أشهر. وذكروا أن الترطيب المسبق للمواد الحصوية المعاد تدويرها يحقق لدونة دائمة وقابلية تشغيل ملائمة. إن استبدال المواد الحصوية الطبيعية بنسبة 25% بمواد حصوية معاد تدويرها في تكوين الخرسانة لا يؤثر على خواص الخرسانة ولا على المواصفات ووصلت نسبة الاستبدال إلى 40 % مع نوعية مقبولة للخرسانة.

-رسالة ماجستير للباحثabdelkrim hachana بعنوان " دراسة الخرسانة المحتوية على مواد حصوية من مخلفات الهدم ":

etude des bétons à base des agrégats des dechets de démolition [14]

كان الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو إثبات إمكانية استخدام المواد الحصوية (نفايات الخرسانة وقرميد الهدم) تقنيًا كبديل جزئي أو كلي عن المواد الحصوية الطبيعية في تصنيع الخرسانة

ركزت الدراسة التجريبية على معدلات الاستبدال (0 ، 30 ، 50 ، 70 ، 100٪) لكل نوع من نوعي المواد الحصوية المعاد تدويرها بالإضافة إلى مزيج من النوعين بنسب متساوية.

تم تحليل خصائص المواد الحصوية المعاد تدويرها وكذلك خصائص الخرسانة الطازجة والمصلدة على أساس هذه المواد ومقارنتها مع خصائص عينة الخرسانة الشاهدة (100٪ مواد حصوية طبيعية)

-دراسة للباحثين S. Kenai • F. Debieb بعنوان:

"توصيف ديمومة الخرسانة المعاد تدويرها باستخدام مواد حصوية خشنة وناعمة من كسارة القرميد والخرسانة"

"Characterization of the durability of recycled concretes using coarse and fine crushed bricks and concrete aggregates [15]

لتقييم ديمومة الخرسانة المعاد تدويرها والمكونة من حصويات خشنة وناعمة معاد تدويرها. تم في هذا البحث استبدال الحصى والرمل الطبيعي جزئياً (25 و 50 و 75 و 100٪) بالحصويات الخشنة وبالناعمة وبمزيج من الخشنة والناعمة الناتجة عن الخرسانة القديمة والقرميد الناري المسحوق. بالمقارنة مع الخرسانة القائمة على المواد الحصوية الطبيعية 100 ٪ ، أظهرت نتائج هذه الدراسة أن امتصاص الماء للخرسانة المعاد تدويرها مرتفع، ونفاذيتها تجاه الماء يمكن أن تصل إلى ضعف ما هو مع الخرسانة ذات الحصويات الطبيعية والانكماش أمر مهم للغاية. أظهرت هذه الدراسة أيضاً أن الخرسانة المعاد تدويرها تتصف بأعلى امتصاص للماء وبأعلى نفاذية هذا لا شك بسبب الحجم الكبير للمسام الشعرية، بيد أن المقاومات الميكانيكية للخرسانة مقبولة حتى مع نسب استبدال قريبة من 40%،

الطرائق والمواد

اعتمدت منهجية البحث على اختيار المواد الأولية بحيث تحقق هدف البحث الأساسي ألا وهو التخلص من الأنقاض العادية ومخلفات البناء المختلفة ومن بينها مخلفات القرميد حيث اختيرت لتمثل أنقاض المبني ذات الطابع السائد ونوعيات القرميد الأكثر استعمالاً في مدينة حلب موقع الدراسة. ومن ثم التكسير وإعداد الخلطة المرجعية والخلطات الحاوية على النسب المختلفة وفق برنامج تجريبي شامل وبعد ذلك اختبار العينات المصبوبة وجمع النتائج وتحليلها ودراسة تأثير نسب الاستبدال على كثافة الخلطات وبعض خواصها الميكانيكية والحرارية للخلوص إلى نسب الخلط الأفضل واستنتاج علاقات تجريبية خلال ذلك بالإضافة لمقارنة النتائج مع مثيلاتها في أبحاث أخرى.

المواد الأولية

تتألف المواد الأولية المختارة والداخلة في تركيب العينات الخرسانية من: حصويات كلسية طبيعية ومعادة التدوير وحصويات مخلفات القرميد الأحمر، اسمنت بورتلاندي عادي نوع 32.5 عيار 350 kg، رمل كلسي، رمل فراتي، ملدن من الجيل الثالث بنسبة 1% من الإسمنت بالإضافة للماء وقد أخذ من شبكة ماء الشرب في جامعة حلب حيث تمت المحافظة على هبوط مخروط 10±2 cm في جميع الخلطات.

استخدمت في هذه الدراسة مخلفات القرميد المحطم من عدة أبنية ضمن مدينة حلب أهمها مباني مؤسسة المياه التي يوجد فيها أسقف واسعة جداً من القرميد الأحمر لتغطية أحواض المياه المختلفة متضررة بشكل كبير، وقد تم تجميع كمية كافية للدراسة من مخلفات هذه الأبنية ونقلها الى المخبر للبدء بتجهيزها لمرحلة التكسير التي نفذت بشكل يدوي باستخدام مطارق متعددة الاحجام بحيث يمكن الحصول على حصويات للقرميد من مختلف الاحجام مع تجنب التفتت الكامل والسحق إلى بودرة، وتم النخل للحصول على أبعاد المواد الحصوية المطلوبة (الشكل 1).

تم اختبار المواد الحصوية الداخلة في الخلطات حيث حسبت الكثافة المرصوصة والتشرب والاهتراء كما يظهر في الجدول 1. وللتغلب على مشكلة التشرب لدى حصويات القرميد المكسر والحصويات معادة التدوير تم الخلط على مرحلتين حيث تم خلط نصف كمية الماء تقريباً مع الحصويات الجافة (الشكل 2) وتركها لمدة تقارب الساعة مع التحريك كل ربع ساعة ومن ثم تم استخدام الكمية المتبقية من الماء مع الملدن عند عملية الخلط النهائية وهي نفس طريقة الخلط التي تم اتباعها في تصنيع بيتون خفيف من الانقاض بإضافة الخبث

البركاني (البوزولان) [16] حيث قللت هذه الطريقة الكثير من مساوئ الحصويات معادة التدوير.

الجدول 1: خواص المواد الحصوية

المادة	الكثافة كغ/م3	التشرب %	الاهتراء %	المكافئ الرملي%
كسارة قرميد أحمر	1045	12.7	40.6	-
الحصويات الكلسية	1389	5.8	32.7	-
حصويات معادة التدوير	1314	9.6	38.7	-
رمل كلسي	1492	6.7	-	77.2
رمل نهري فراتي (أقل من 0.3mm)	1732	1.1	-	96.2

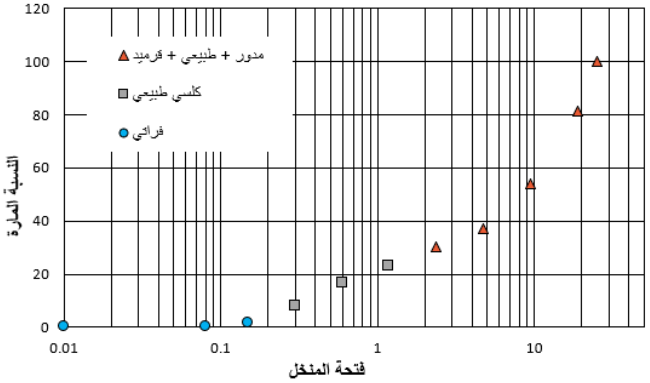
الشكل 1: القرميد المكسر والمنخول وفق أحد الأقطار المحددة

تصميم التركيب الحبي لعينات الخرسانة:

تم تصميم التركيب الحبي للخلطة المرجعية للخرسانة وفق الشكل 3 بنفس طريقة تصميم التركيب الحبي الذي تم استخدامه في خلطات الخرسانة ذات الحصويات معادة التدوير التي تم العمل على تحسين خواصها العازلة للحرارة في المشروع الوطني لإعادة تدوير أنقاض الأبنية والبنى التحتية [3]، حيث تم في البداية اعتماد نسبة خلط 30% حصويات معادة التدوير من مجمل البحص والرمل الخشن حتى قطر 2.38 ملم، و 70% مواد حصوية طبيعية (كلسية)، واستخدم الرمل الكلسي بين القطر 1.18 ملم والقطر 0.3 ملم أما ما دون ذلك فكان رملا نهرياً فراتياً وقد تم اعتماد هذا التركيب لتجنب مشاكل التشرب للحصوبات معادة التدوير الناعمة والكلسية الناعمة جداً.

الشكل 2: اليمين المواد الحصوية الجافة وعملية تبليلها، اليسار المواد الحصوية مع الاسمنت

ثم تم تنفيذ عدد من الخلطات بنسب 20، 40، 60، 100% من القرميد الأحمر استبدلت من مجمل وزن البحص والرمل حتى قطر 2.38 ملم، وتم صب ثلاث عينات خرسانية لكل اختبار. يظهر في الجدول 2 النسب المئوية الوزنية لكل من الحصويات الطبيعية، حصويات الأنقاض معادة التدوير، وحصويات القرميد المكسر الداخلة في تركيب الخلطات المدروسة وفقا لأقطار المناخل المستخدمة.



الشكل 3: التركيب الحبي المستخدم ونوعية مواده

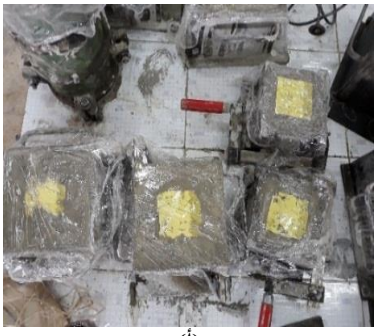
الجدول 2: الخلطات المنفذة

فتحة المنخل	المحجوز%	الحصويات	0 % قرميد			20 % قرميد			40 % قرميد			60 % قرميد			100 % قرميد		
			قرميد	معاد تدوير	طبيعي	قرميد	معاد تدوير	طبيعي	قرميد	معاد تدوير	طبيعي	قرميد	معاد تدوير	طبيعي	قرميد	معاد تدوير	طبيعي
25	0	قرميد +طبيعي +معاد تدوير	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	18.8		0.0	5.6	13.1	3.8	4.5	10.5	7.5	3.4	7.9	11.3	2.3	5.3	18.8	0.0	0.0
9.5	27.3		0.0	8.2	19.1	5.5	6.5	15.3	10.9	4.9	11.4	16.4	3.3	7.6	27.3	0.0	0.0
4.75	16.8		0.0	5.0	11.7	3.4	4.0	9.4	6.7	3.0	7.0	10.1	2.0	4.7	16.8	0.0	0.0
2.38	7		0.0	2.1	4.9	1.4	1.7	3.9	2.8	1.3	2.9	4.2	0.8	2.0	7.0	0.0	0.0
1.18	7.3	طبيعي	7.3			7.3			7.3			7.3			7.3		
0.6	6.5		6.5			6.5			6.5			6.5			6.5		
0.3	8.5		8.5			8.5			8.5			8.5			8.5		
0.15	6.3	رمل فراتي	6.3			6.3			6.3			6.3			6.3		
0.08	1.8		1.8			1.8			1.8			1.8			1.8		
0.01	0		0.0			0.0			0.0			0.0			0.0		

تجهيز العينات وحفظها والأجهزة المستعملة:

بعد تحضير الخلطات تم صب عينات مكعبية $15 \times 15 \times 15$ cm لإيجاد الكثافة ومقاومة الضغط والايصالية الحرارية، وعينات اسطوانية بقطر 15 cm وارتفاع 30 cm لايجاد مقاومة الشد بالفلق ومواشير ذات مقطع مربع بضلع 7 cm وطول 28 cm لايجاد مقاومة الشد بالانعطاف بعد الصب تمت تغطية القوالب ببلاستيك شفاف لمنع التبخر وحفظت بعيداً عن الشمس بدرجة حرارة المخبر التي كانت 16-27 وتم فك القوالب بعد 24 ساعة وحفظت العينات في حوض مائي بدرجة حرارة (20±2 C0) وأخرجت من الماء قبل 48 ساعة من إجراء التجارب.

تم قياس مقاومة باستخدام مكبس هيدروليكي (نوع AMSLAR) متحرك يمكن التحكم بسرعته (الشكل 4b) يمثل أحد فكي جهاز الضغط المطبق، ويتم تحديد ضغط الانهيار عند تساوي سرعة المكبس مع معدل التشوه فهذا يعني حدوث الانهيار.



(أ)

(ج)

(ب)

(د)

الشكل 4: تحضير واختبار العينات (أ) تحضير العينات (ب) جهاز تحديد المقاومة على الضغط (ج) جهازرتحديد المقاومة بالانعطاف (د) اختبار المقاومة على الشد بالفلق

وتم قياس مقاومة الشد بالانعطاف باستخدام مكبس مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية (الشكل 4c)، وتم قياس مقاومة لشد وبالفلق باستخدام مكبس مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية، بينما تم قياس الايصالية الحرارية بعد أخذ شرائح من المكعبات الخرسانية بسماكة سنتيمتر واحد باستخدام جهاز قياس الايصالية الحرارية الموجود في كلية الهندسة الميكانيكية في جامعة حلب. يظهر الشكل 4 مراحل مختلفة من تحضير العينات واختباراتها.

النتائج والمناقشة:

بعد قياس مقاومة الضغط للعينات المكعبية والشد بالانعطاف للعينات الموشورية والشد بالفلق للعينات الاسطوانية تم ايجاد متوسطات هذه المقاومات ومن ثم تم حساب مقاومات الضغط الاسطوانية ومقاومة الشد الناتجة عن الانعطاف والفلق باستخدام معاملات التصحيح وعلاقات الكود العربي السوري [17] يظهر الجدول 3 كل من: متوسط الكثافة، والقيم المصححة وفق الكود لمتوسط المقاومة الاسطوانية على الضغط ومقاومة الشد الناتج عن الانعطاف والفلق بعد 28 يوم. كما تمت دراسة تطور المقاومة مع الزمن حيث تم قياس المقاومة بعد 3، 7، 14، 28، و56 يوماً.

تأثير نسبة القرميد الأحمر من الحصويات الخشنة على الكثافة:

يظهر الشكل 5 علاقة الكثافة الجافة مع نسبة القرميد الأحمر المستبدل من الحصويات الخشنة (بحص ورمل حتى قطر 2.38ملم) الموجودة في الخلطة ويظهر من الشكل أن كثافة الخلطات المدروسة تنقص مع زيادة نسبة الحصويات الناتجة عن إعادة تدوير القرميد وهذا منطقي لانخفاض كثافة الحصويات بحد ذاتها.

تأثير نسبة القرميد الاحمر على مقاومة الضغط

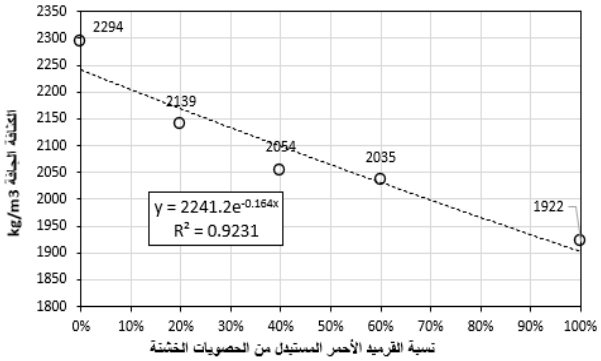
يظهر الشكل 6 علاقة مقاومة الضغط (العينات المكعبية) مع نسبة القرميد الأحمر المستبدل من الحصويات الخشنة (بحص ورمل حتى قطر 2.38ملم) الموجودة في الخلطة عند العمر 28 يوم.

يلاحظ أن إضافة حصويات القرميد معادة التدوير يؤدي في البداية إلى رفع المقاومة ومرد ذلك إلى شكل الحصويات والتي تعطي تعشيقا أكبر مع الحصويات العادية مما يرفع المقاومة قليلا عند نسب الإضافة المنخفضة.

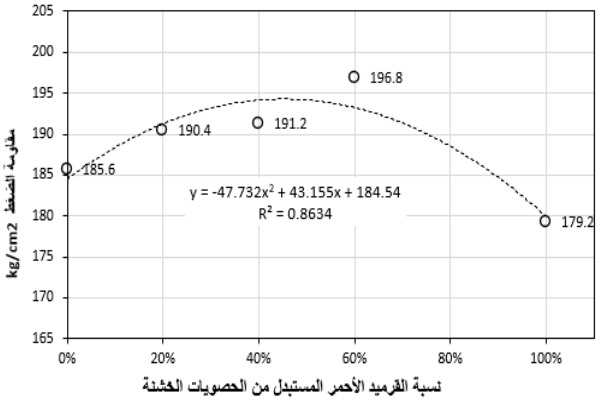
كما وجد أن الخلطة الحاوية على نسبة 40% أعطيت مقاومة أكبر من بقية الخلطات وأن نسبة خلط القرميد التي تعطي أكبر مقاومة هي 44%. أما فيما يخص تطور مقاومة الخرسانة على الضغط، فقد تشابه سلوك الخرسانة الحاوية على نسبة من الحصويات الناتجة عن القرميد الأحمر مع سلوك خلطات الخرسانة العادية المصنعة من حصويات طبيعية إلى حد بعيد، يظهر الشكل 7 تطور المقاومة على الضغط لنسبة الخلط 40%.

الجدول 3: نتائج اختبار الكثافة ومقاومة الضغط والشد للخلطات المنفذة بعد 28 يوم

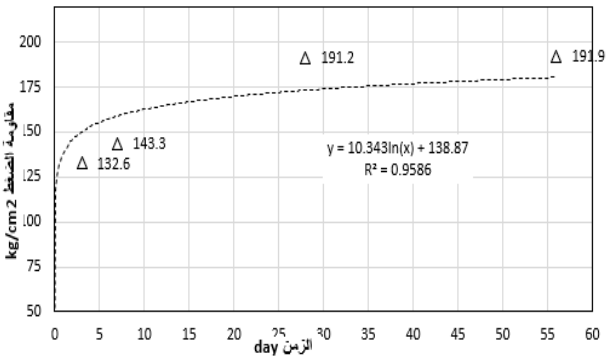
نسبة القرميد	الكثافة الجافة kg/m3	مقاومة الضغط kg/cm2	مقاومة الشد بالانعطاف kg/cm2	مقاومة الشد بالفلق kg/cm2
0%	2294	185.6	24.93	20.45
20%	2139	190.4	25.43	21.66
40%	2054	191.2	33.9	25.27
60%	2035	196.8	30.91	25.31
100%	1922	179.2	30.81	24.06



الشكل 5: علاقة الكثافة الجافة مع نسبة القرميد المستبدل من الحصويات الخشنة



الشكل 6: علاقة مقاومة الضغط مع نسبة القرميد



الشكل 7: تطور المقاومة المكعبية على الضغط للعينات ذات نسبة قرميد 40% مع الزمن

تم العمل على ايجاد معامل المرونة من المعادلة 1 الواردة في ACI 318-08 [18] والتي تعطي معامل المرونة في حال كان الوزن الحجمي w_c يقع ضمن المجال
$1442 - 2563\ kgf/m^3$ والتي تعطى بالشكل:

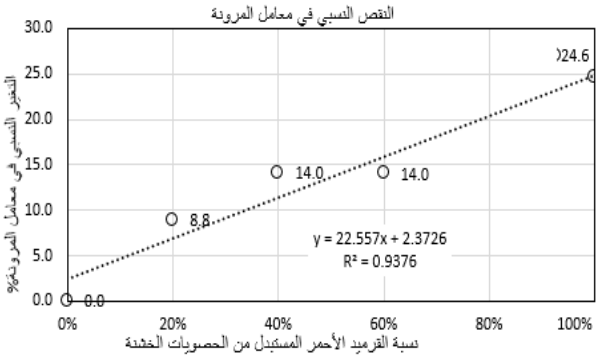
$$E_c = w_c^{1.5} \times 33\ \sqrt{f'_c} \qquad (1)$$

حيث E_c معامل المرونة، و f'_c المقاومة الاسطوانية على الضغط وكلاهما مقاس بواحدة psi. بعد حساب المقاومة على الضغط للخلطات المختلفة بتحويل المقاومة المكعبية إلى الاسطوانية النظامية وذلك بضرب مقاومة المكعبات ذات الضلع $15\ cm$ بمعامل تصحيح يساوي 0.8 وفق الكود السوري للخرسانة وحساب الوزن الحجمي الجاف من الكثافة الجافة، تم حساب معامل المرونة من المعادلة 1 للخلطات المدروسة.

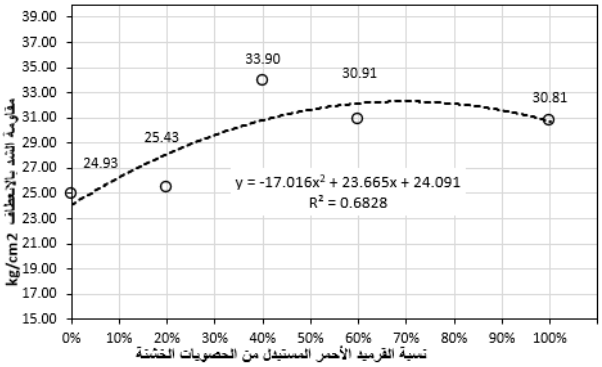
يظهر الشكل 8 علاقة التغير النسبي في معامل المرونة (النقصان النسبي عن معامل مرونة العينة المرجعية) المحسوب من المعادلة 1 مع نسب القرميد معاد التدوير المستبدل ويلاحظ بأنه يمكن أن يُمثل بشكل خطي. كما يظهر الشكل أن نقصان معامل المرونة يتناسب بشكل طردي مع نسبة الاستبدال.

تأثير نسبة القرميد الأحمر على مقاومة الشد بالانعطاف:

يظهر الشكل 9 علاقة مقاومة الشد بالانعطاف مع نسبة القرميد المستبدل من الحصويات الخشنة (بحص ورمل حتى قطر 2.38ملم) الموجودة في الخلطة. ويلاحظ أن مقاومة الشد تزداد مع زيادة نسبة حصويات القرميد لتصل قيمة أعظمية عند نسبة استبدال 72% ومن ثم تبدأ المقاومة بالانخفاض بشكل خفيف وقد تعود الزيادة في البداية إلى زيادة التعشيق والاحتكاك بين حصويات الخلطات بسبب شكل حصويات القرميد المكسرة ومع زيادة نسبة القرميد تزداد الفراغات والتكهفات المجهرية بين الحصويات مما يتسبب في ضعف المقاومة بشكل عام.



الشكل 8: علاقة التغير النسبي لمعامل المرونة مع تغير نسبة قرميد

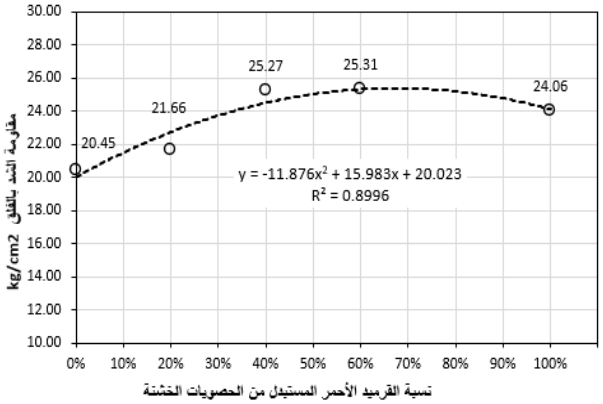


الشكل 9: علاقة مقاومة الشد على الانعطاف مع نسبة القرميد

تأثير نسبة القرميد الأحمر على مقاومة الشد بالفلق

يظهر الشكل 10 علاقة مقاومة الشد بالفلق مع نسبة القرميد المستبدل من الحصويات الخشنة (بحص ورمل حتى قطر 2.38ملم) الموجودة في الخلطة. ويلاحظ أن مقاومة الشد تزداد مع زيادة نسبة حصويات القرميد لتصل قيمة أعظمية عند نسبة استبدال 70% ومن ثم تبدأ المقاومة بالانخفاض بشكل خفيف. وتعود الزيادة إلى نوعية التلاصق بين الحصويات المختلفة مع الملاط الاسمنتي الذي يجعل المقاومة تزداد في البداية لكن مع زيادة نسبة القرميد الاحمر بشكل

كبير تزداد الفراغات والتكهفات المجهرية بين الحصويات العامل مما يسرع الانهيار.

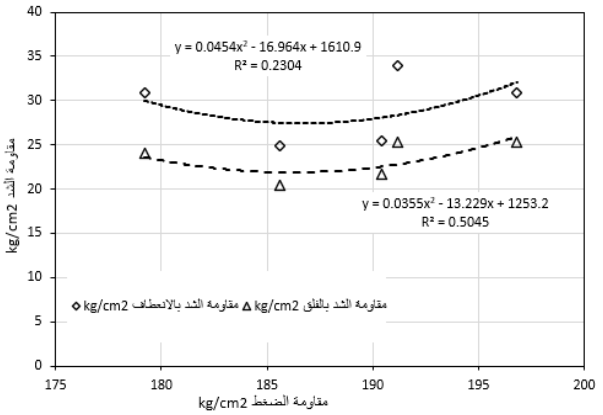


الشكل 10: علاقة مقاومة الشد بالفلق مع نسبة القرميد.

دراسة علاقة مقاومة الضغط مع كل من مقاومة الشد بالإنعطاف وبالفلق

تم العمل على ايجاد علاقة بين مقاومة العينات على الضغط ومقاومتها على الشد بالانعطاف والفلق بعد تعديل كل من إجهادات الشد بالفلق والانعطاف كتلك الخاصة بالخرسانة العادية والمذكورة في الكود العربي السوري (الجدول 3) كما يبدو في الشكل 11.

وبنتيجة ذلك وجد أنه لا يمكن تخمين مقاومة الشد سواء بالانعطاف أو بالفلق بعد معرفة مقاومة الضغط حيث أظهرت النتائج أن عوامل الارتباط غير مقبولة في الحالتين حيث كانت معاملات الارتباط 0.5 لحالة الفلق و0.2 لحالة الانعطاف تقريبا. ويعود ذلك في الغالب إلى اختلاف سلوكية حصويات القرميد عن سلوك الحصويات الكلسية أو المدورة ضمن المادة المركبة التي تشكل هذه الخرسانة. كما أن ضعف الارتباط في حالة الانعطاف يعود إلى ضعف مقاومة حصويات القرميد مما يجعلها نقطة الضعف في مسار الانكسار المتوقع.



الشكل 11: علاقة مقاومة الشد بالفلق والانعطاف مع مقاومة الضغط

تأثير نسبة القرميد الأحمر على الايصالية الحرارية (W/mK°):

تم صب عينات مكعبية بأبعاد $15 \times 15 \times 15\ cm$ (ثلاث عينات لكل خلطة) لقياس الايصالية الحرارية على الجهاز الموجود في كلية الهندسة الميكانيكية في جامعة حلب بعد أن تم قص هذه المكعبات الى شرائح بسماكة أقل أو تساوي $1\ cm$ ، وقيست الايصالية باستخدام شريحة وسطية من كل مكعب ومن ثم أخذ متوسط الشرائح الثلاث لكل خلطة. كما تم حساب الايصالية الحرارية أيضاً من العلاقة التقريبية التي يعطيها مركز أبحاث الخرسانة الأمريكي ACI (المعادلة 2) والتي تربط ايصالية الخرسانة الخفيفة مع كثافته الجافة بالعلاقة التالية:

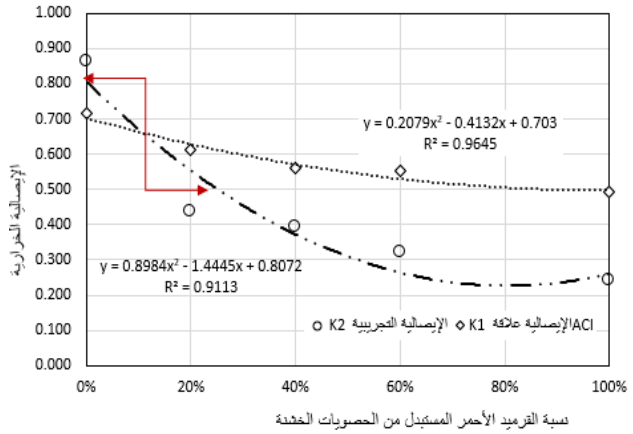
$$\lambda = 0.072 \times e^{0.00125\,\rho} \qquad (2)$$

حيث ρ الكثافة الجافة بواحدة kg/m^3 وλ معامل الايصالية الحرارية بواحدة W/mK. يبين الجدول 4 متوسط قيم الإيصالية الحرارية التجريبية للعينات المنفذة ومتوسط الايصالية الحرارية المحسوبة من علاقة ACI. يظهر الشكل 12 علاقة متوسط قيم الايصالية الحرارية التجريبية والمحسوبة مع نسب استبدال القرميد المختلفة. بينما يظهر الشكل 13 الفرق النسبي بين الإيصالية الحرارية التجريبية والمحسوبة من علاقة ACI. ويظهر الشكل 14 علاقة متوسط قيم الايصالية الحرارية المقاسة والمحسوبة من علاقة ACI للعينات مع الكثافة الجافة لهذه العينات.

يظهر من الشكل 12 أن تطور العازلية الحرارية للخرسانة الحاوية على حصويات القرميد الأحمر مع زيادة نسبة هذه الحصويات يختلف عما تتوقعه المعادلة 2 الخاصة بـ ACI ويمكن قبولها لتمثل الإيصالية الحرارية في حال الاستبدال بحصويات القرميد بنسبة من 0 إلى ما يقارب 20 % فقط.

الجدول (4) : متوسط قيم الإيصالية الحرارية للعينات المنفذة(W/mK°)

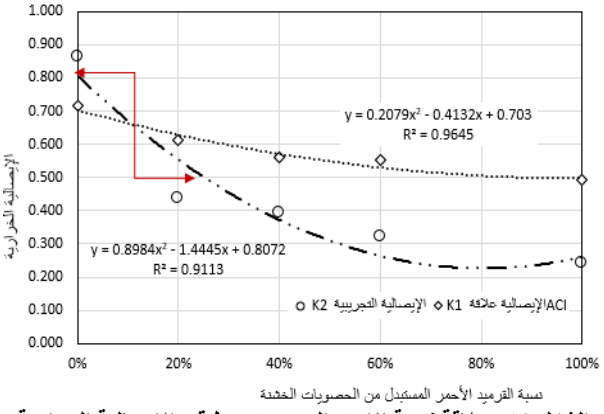
نسبة القرميد %	متوسط الكثافة الجافة kg/m3	K1 متوسط الايصالية من ACI (W/mK)	K2 متوسط الايصالية التجريبية (W/mK)
0%	2294	0.714	0.865
20%	2139	0.611	0.438
40%	2054	0.562	0.395
60%	2035	0.551	0.320
100%	1922	0.492	0.242



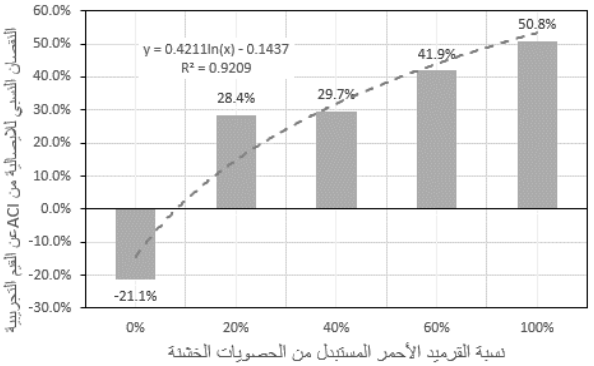
الشكل 12: علاقة نسبة الاستبدال مع متوسط قيم الإيصالية الحرارية من علاقة ACI والتجريبية

يلاحظ من الشكل 14 أن نقصان الايصالية الحرارية مع نقصان الكثافة يكون أكثر حدة منه في المعادلة 2 التي يعطيها ACI. وأن ثوابت المعادلة الأسية تختلف في حال وجود حصويات قرميد في الخلطة الخرسانية لتصبح كما في المعادلة 3.

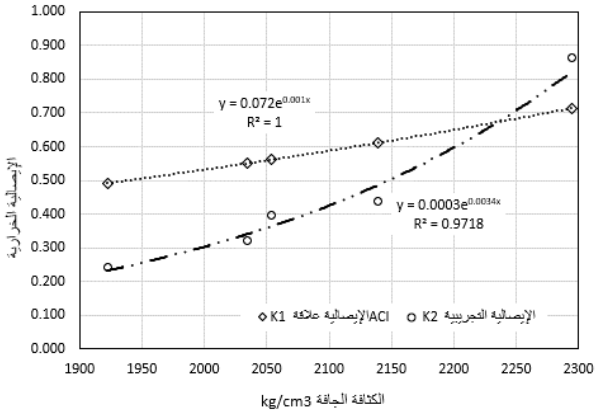
$$\lambda = 0.0003 \times e^{0.0034\,\rho} \qquad (3)$$



الشكل 12: علاقة نسبة الاستبدال مع متوسط قيم الإيصالية الحرارية من علاقة ACI والتجريبية



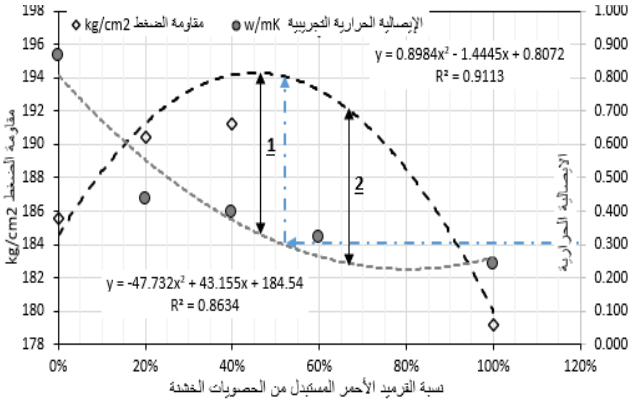
الشكل 13: علاقة نسبة القرميد مع الفرق النسبي بين الإيصالية الحرارية من علاقة ACI والقيم التجريبية



الشكل 14: علاقة الكثافة الجافة مع متوسط قيم الإيصالية الحرارية من علاقة ACI والتجريبية

الخلطة الأفضل لمقاومة الضغط مع ايصالية حرارية منخفضة

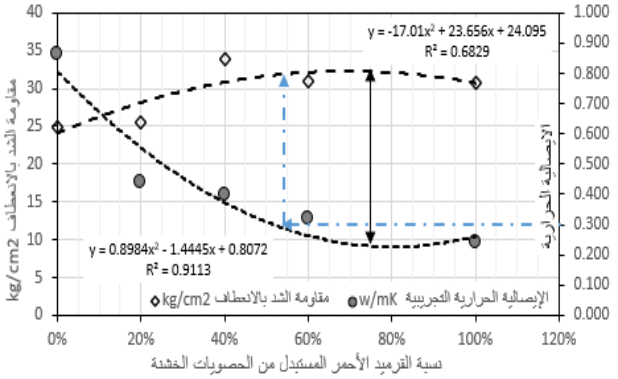
تم العمل على ايجاد نسبة الاستبدال الأمثل التي يمكن أن تعطي مقاومة عالية على الضغط وهي ليست بالضرورة أعلى مقاومة وإنما في المجال المحيط بأعلى مقاومة مع ايصالية حرارية منخفضة تكون كذلك في المجال المحيط بأخفض ايصالية. يظهر الشكل 15 علاقة نسبة القرميد مع كل من مقاومة الضغط والايصالية الحرارية. ويلاحظ أن نسبة القرميد التي تجعل الخرسانة الحاوية على حصويات القرميد عازلة للحرارة وفق كود العزل الحراري السوري [19] والتي تحقق إيصالية حرارية أقل من $0.3\ W/mK$ هي الخلطات التي تحوي في حصوياتها الخشنة حتى القطر 2.83 mm على نسبة قرميد تزيد عن 52% منها حيث توافق هذه القيمة مقاومة على الضغط 190 kg/cm2 وهي تساوي تقريبا المقاومة العظمى. كما يمكن وحسب الغرض من المنشأ المبنى من الخرسانة الحاوية على حصويات القرميد أن تكون نسبة الاستبدال بين 46% وحتى 67% بحيث يتحقق مقاومة ضغط عالية وايصالية حرارية منخفضة.



الشكل 15: نسبة القرميد الأفضل لتحقيق العازلية الحرارية و مقاومة الضغط

الخلطة الأفضل لمقاومة الشد مع ايصالية حرارية منخفضة

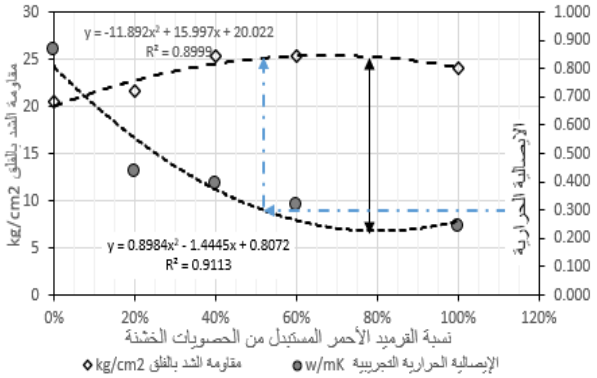
يظهر الشكل 16 علاقة نسبة القرميد مع كل من مقاومة الشد بالانعطاف والايصالية الحرارية حيث يلاحظ أن نسبة القرميد التي تجعل الخرسانة الحاوية على حصويات القرميد عازلة للحرارة وفق الكود العزل الحراري السوري هي نسبة تزيد عن 54% منها حيث تكون مقاومة الشد بالانعطاف قريبة جدا من القيمة العظمى. كما أن نسبة الاستبدال 75% توافق قيمة عالية لمقاومة الشد بالانعطاف وأخفض ايصالية حرارية.



الشكل 16: نسبة القرميد الأفضل لتحقيق العازلية الحرارية و مقاومة الشد بالإنعطاف

بينما يظهر الشكل 17 علاقة نسبة القرميد مع كل من مقاومة الشد بالفلق والايصالية الحرارية حيث يلاحظ أن نسبة القرميد التي تجعل الخرسانة الحاوية على حصويات القرميد عازلة للحرارة وفق الكود العزل الحراري السوري هي نسبة تزيد عن 52% منها حيث تكون مقاومة الشد بالفلق قريبة جدا من القسمة العظمى كما في حالة

الانعطاف. وتأخذ مقاومة الشد بالفلق أعلى قيمة قريبة جدا من أعلى قيمة عند الإيصالية الحرارية الدنيا عند نسبة الاستبدال 78 %.
من مقارنة الشكلين 16 و 17 يمكن الاستنتاج أن نسبة الاستبدال التي تزيد عن 52 % تجعل الخرسانة تتمتع بعازلية حرارية توافق كود العزل الحراري السوري [19] كما أن النسبة 76±1 % تعتبر النسبة الأفضل من ناحية مقاومة الشد والعازلية الحرارية.



الشكل 17: نسبة القرميد الأفضل لتحقيق العازلية الحرارية و مقاومة الشد بالفلق

الخلاصة:

أن الكثافة تنقص بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة حصويات القرميد وهذا يتوافق مع نتائج الأبحاث السابقة ومنها دراسة الباحثة ايفانا كيسجيك " [9]: و البحث [10] ، وتبين أن العلاقة بينهما يمكن أن تعطى بعلاقة أسية من الشكل:
$y = 2241.2 \times e^{-0.164 \times x}$ حيث x نسبة الاستبدال بحصويات القرميد. تبين من نتائج المقاومة على الضغط أن ارتفاع نسبة الاستبدال للقرميد الأحمر حسنت قليلاً من المقاومة على الضغط مقارنة مع العينة المرجعية (30% حصويات معادة التدوير و70% حصويات كلسية طبيعية) وخاصة مع نسبة استبدال 45%، وهذا يتوافق مع نتائج البحث [13،14] الذين ذكروا أن نسبة استبدال قريبة من 40%، هي النسبة المثلى للاستبدال، بيد أن التحسن الملاحظ في البحث الحالي مقارنة مع المرجع ناتج عن كون العينة المرجعية في البحث الحالي تحتوي مخلفات هدم وليس حصويات طبيعية بالكامل.
تبين من نتائج المقاومة على الانعطاف أن ارتفاع نسبة الاستبدال للقرميد الأحمر حسنت من المقاومة على الانعطاف وحتى مع نسبة استبدال 72%، بعد ذلك تبدأ المقاومة بالتناقص بشكل خفيف. وهذا يتوافق مع نتائج البحثين [14,15] حيث تبين أن نسبة استبدال 40%، تعطي مقاومات مقبولة للخرسانة، بيد أن التحسن في مقاومة الانعطاف الملاحظ في البحث الحالي وحتى مع نسب استبدال مرتفعة مقارنة مع المرجع ناتج عن كون العينة المرجعية في البحث الحالي تحتوي مخلفات هدم وليس حصويات طبيعية بالكامل.
تبين من نتائج مقاومة الشد على الفلق أن ارتفاع نسبة الاستبدال للقرميد الأحمر حسنت من مقاومة الشد على الفلق وأن نسبة الاستبدال 70 % توافق أعلى قيمة لمقاومة الشد بالفلق.
وتبين من نتائج قياس الايصالية الحرارية انخفاض الايصالية الحرارية مع زيادة نسبة الاستبدال للقرميد ، حيث مع نسبة استبدال 40% انخفضت قيمة عامل الايصالية من 0.865 (W/m.K) إلى 0.395 . (W/m.K) ، وهذا الاستنتاج يتوافق من نتائج [11,12] .إن تأثير حصويات القرميد المكسر على خواص الخرسانة ناتج من التأثير المشترك لانخفاض الكثافة وخشونة السطح.

لا يمكن أن يتم تخمين الايصالية الحرارية من علاقة ACI عند نسب استبدال أكبر من 20% ولكن يفضل استخدام العلاقة $\lambda = 0.0003 \times e^{0.0034\rho}$ لحساب الايصالية الحرارية لخلطات الخرسانة الحاوية على حصويات القرميد.
عند نسبة الاستبدال 52% يمكن اعتبار الخرسانة الحاوية على حصويات القرميد مادة عازلة حرارياً وفق كود العزل الحراري السوري ويعتبر المجال بين 46% وحتى 67% المجال المقبول للعناصر المعرضة للضغط.
نسبة الاستبدال التي تزيد عن 52 % تجعل الخرسانة تتمتع بعازلية حرارية توافق كود العزل الحراري السوري كما أن النسبة 76±1 % تعتبر النسبة الأفضل من ناحية مقاومة الشد والعازلية الحرارية بآن معاً. إضافة إلى نتائج هذا البحث يوصى بعمل دراسات أخرى مع تغيير نوعية الحصويات الخشنة الطبيعية في الخلطة بحيث تشمل الأنواع الفراتية والحسوانية لأن نوعيتها قد تؤثر على النتائج بشكل كبير حيث تختلف سلوكية المادة المركبة (الخرسانة) باختلاف المواد المكونة لها.

شكر وتقدير

يتقدم المؤلفون بالشكر صندوق دعم البحث العلمي والتطوير التقاتي في وزارة التعليم العالي والبحث العلمي في سورية لدعمه وتمويله هذا البحث ضمن سلسلة أبحاث المشروع الوطني لتدوير وإعادة استخدام أنقاض الأبنية والبنى التحتية ، بموجب القرار الوزاري / العقد / رقم / 2016/20/7.

المراجع

[1] عبد الحكيم بنود و.ندى التنجي(2017) " تقنيات إعادة تدوير النفايات "، منشورات جامعة حلب.

[2] Joseph Laquatra and Mark Pierce (2011), "Waste Management at the Construction Site" Integrated Waste Management - Volume I –chapter 15.

[3] فاطمة الصالح وزملائها (2017) "المشروع الوطني لتدوير وإعادة استخدام أنقاض الأبنية والبنى التحتية National Project of Buildings and Infrastructures Demolition Recycling and Reusing"، التقرير الأول المقدم إلى وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، الحمهورية العربية السورية.

[4]عبد الحكيم بنود و فاطمة الصالح(2018)" نظام مقترح للإدارة البيئية لمخلفات البناء والهدم"، مجلة جامعة الفرات للدراسات والبحوث العلمية، سلسلة العلوم الهندسية، العدد 42.

[5] Bouchaib Mandili, Mohamed, Taqi, Hamid Chakir, Omar Douzane & Mohamed (2020) "Development of new construction material for thermal insulation of building based on aggregate of waste paper and cement, "Errouaiti Heat and Mass Transfer vol 56, pages1753–1765.

[6] Viktor Bánhidi and, László A. Gömze1, (2008)" Improvement of insulation properties of conventional brick products "Materials Science Forum Vol. 589, pp 1-6

[7] Brick Industry Association (BIA) (1992), "Technical notes on brick construction, Technical notes 3A – brick masonry material properties", available at: www.bia.org.

[8] Said Kenai et Farid Debieb (2011) "Caracterisation de la durabilite´ des betons recycles a` base de gros et fins granulats de briques et de beton concasses", Materials and Structures 44: p 815–824.

[9] Ivana Kesegić, Ivanka Netinger, Dubravka Bjegović (2008) “recycled clay brick as an aggregate for concrete: overview”, Technical Gazette 15-3, p 35-40
[10] Muchtak Sadek radi (2016) “effect of additive crushed brick in some characteristic of hollow concrete block”, Al –Bahir Quarterly Refereed Journal for Natural and Engineering Science, Vol 4, No 7 and 8, p (115-130).
[11] سلام سمعان عبد الأحد 2016"استخدام كسر الطابوق الطيني المعاد كبديل عن الحصى في انتاج بلوك نمطي اقتصادي"، مجلة الهندسة ، المجلد 16، العدد 4 ، 2016.
[12] علي حسين علي وزملائه 2011"إنتاج كتل بنائية خفيفة الوزن باستخدام كسر حجر الحلان كركام ناعم وكسر الطابوق الطيني كركام خشن " ، مجلة التقني، المجلد 24، الإصدار السادس.
[13] Layachi Berredjem, Nourredine Arabi, Laurent Molez (1992), “Contribution à l’étude des indicateurs de durabilité des bétons à base des granulats recyclés”, available en HAL Id: hal-01167725.
[14] Abdelkrim Hachana, Nourredine Arabi, Laurent Molez (2008), “etude des bétons à base des agrégats des dechets de démolition”, These de Magister universite mohamed khider biskra - magister.
[15] Said Kenai et Farid Debieb (2011) “Caracterisation de la durabilite´ des betons recycles a` base de gros et fins granulats de briques et de beton concasses”, Materials and Structures (2011) 44:815–824
[18] Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary (2008), ACI Farmington Hills, MI, USA, ACI (American Concrete Institute).
[16] د. فاطمة الصالح ود.عبد الحكيم بنود " تصنيع بيتون خفيف من الانقاض بإضافة الخبث البركاني (البوزولان)"، مجلة جامعة البعث، المجلد 41- العدد 53، 2019.
[17] الكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة، نقابة المهندسين السوريين، 2012 الطبعة الثالثة.
[19] كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية، وزارة الكهرباء, المركز الوطني لبحوث الطاقة 2007.