استخدام الخبث البركاني والبيرلايت السوري في انتاج مواد بناء ذات أداء حراري مميز

Utilizing the Syrian Pozzolan and Perlite Producing Building Materials with Good Thermal Performance

د. فاطمة الصالح[1]، د. عبد الحكيم بنود[2]، د. لطيفة شكور[3]

[1] قسم هندسة المواصلات، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

[2] قسم البيئة، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

[3] قسم الإدارة والانشاء، كلية الهندسة المدنية، جامعة حلب

Received on: 07/11/2017
Accepted on: 02/02/2018

ABSTRACT- This research deals with the possibility of using natural insulation materials locally available in Syria (perlite and pozzolan) in producing mixtures that achieve a main objective which is good thermal isolation. In other words, the use of building materials that improves the thermal performance of the building. Concrete samples were designed and molded with a fixed percentage of coarse pozzolan as 34% and fine pozzolan as 11%, and variable perlite percentages between 0% to 48%, the rest was lime sand, The compressive resistance of the resulting samples, their dry densities, and their thermal conductivity were measured and the relation between these variables was investigated in order to be used in the thermal and structural design of the building.

The results showed that the replacement of limestone with perlite led to a clear reduction in thermal conductivity which reached 0.237 W/mk.

Keywords: pozzolan, perlite, compressive resistance, thermal conductivity

المستخلص – *يتناول هذا البحث إمكانية استخدام مواد عزل طبيعية متوفرة محلياً في سورية (البيرلايت والبوزولان) في انتاج خلطات تحقق هدف رئيسي وهو العازلية الحرارية الجيدة. و بمعنى آخر استخدام مواد بناء تحسن الأداء الحراري للمبنى. وقد تم تصميم وصب عينات خرسانة بنسبة ثابتة من البوزولان الخشن قيمتها 34%، والبوزولان الناعم 11%، ونسب متغيرة من البيرلايت بين 0% و48%، وباقي النسبة كانت عبارة عن رمل كلسي، وتم قياس كل من مقاومة الضغط للعينات الناتجة ووزنها النوعي وقياس قيمة إيصاليتها الحرارية واستنتاج العلاقة بين هذه المتغيرات للاستفادة منها في التصميم الحراري والإنشائي للمبنى.*

أظهرت النتائج ان استبدال الرمل الكلسي بمادة البرلايت أدت إلى تخفيظ الايصالية الحرارية بشكل واضح وصلت إلى 0.237 W/mk.

الكلمات المفتاحية: *البوزولان، البرلايت، المقاومة على الضغط، الايصالية الحرارية.*

.

مقدمة:

يعدُ توفير الراحة الحرارية لشاغلي المباني ومستخدميها من أهم أهداف المباني المستدامة، ولأن راحة الإنسان تتعلق بالحالة الفيزيولوجية ومنها الراحة الحرارية التي تتحدد بمدى قدرة الجسم على التخلص من الحرارة والرطوبة التي هي نتيجة لعملية الايض الغذائي الذي يحافظ على ثبات درجة حرارة الجسم عند درجة 37 مئوية. والراحة عموماً هي قدرة الجسم البشري على أداء وظائفه الحيوية بأقل قدر ممكن من الاجهاد على الجسم وخلاياه. أما الراحة الحرارية فهي قدرة الانسان على الاحتفاظ بدرجة حرارة ثابتة عن طريق سلسلة من التبادلات الحرارية من جسم الانسان والظروف المحيطة. ويعتبر جسم الانسان حالة من حالات الاتزان الحراري بين حرارة منتجة وحرارة مفقودة. وبشرة الجسم الخارجية هي التي تشعر بالحرارة أو بالبرودة، وتتراوح درجة حرارة بشرة الجسم لكي يشعر بالراحة بين 31 و 34 درجة مئوية.

وتعتبر درجة حرارة الهواء أهم عامل في تحقيق الراحة الحرارية، فإذا كانت أعلى من درجة حرارة بشرة جسم الانسان فإن الحرارة المتولدة في الجسم تجد صعوبة في الخروج وينتج عن ذلك ارتفاع في درجة حرارة البشرة ونشاط في الغدد التي تفرز العرق حيث ينتج عند تبخره إحساس بالبرودة الناتجة عن امتصاص الحرارة اللازمة للبخر.

من المعروف أن حدود الراحة الحرارية للإنسان تقع بين 22.5 و 29.5 درجة مئوية.

وتعتمد عملية الحفاظ على الطاقة على عمليات الترشيد في الاستهلاك، ويدخل في هذه العملية مواد البناء ذات الاستهلاك الضئيل، ومواد البناء المتاحة في الموقع بدلاً من نقل المواد، واختيار المواد ذات المقاومة الطويلة الأجل لزيادة عمرها الافتراضي في عملية الإنشاء.

وأدى النمط السائد للحياة المعاصرة إلى معدلات استهلاك للطاقة التقليدية بشكل لم يسبق له مثيل في تاريخ البشرية مما زاد خطر حدوث أزمة طاقة في المستقبل القريب.

وتتوجه سياسات الدول حالياً وبسبب ذلك إلى الحد من استهلاك الطاقة وتحسين أداء النمط الاستهلاكي للطاقة بالإضافة إلى تزايد الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة. وحيث أن استهلاك الطاقة في المباني يشكل نسبة تصل في كثير من الأحيان إلى 40 % من معدلات استهلاك الطاقة الإجمالي فقد برزت أهمية اجراء خطوات عملية تساهم في تقليل استهلاك الطاقة من بينها استخدام مواد بناء جديدة تحسن من أداء المبنى الحراري [1]، و التخطيط العمراني للتجمعات السكنية لتحقيق ما بات يعرف بالمباني المستدامة[2].

2- العزل الحراري:

يعرف العزل الحراري بأنه المحافظة على حرارة المنشأة من التأثيرات الخارجية باستخدام مواد لها خواص عازلة للحرارة بحيث تساعد على منع أو التقليل من تسرب وانتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل في فصل الصيف أو العكس في فصل الشتاء. وفائدة العزل الحراري انه يوفر كمية الطاقة اللازمة لتسخين أو تبريد المبنى المعزول حرارياً. كذلك يجعل درجة الحرارة الداخلية للمبنى متساوية وغير متقلبة [3].

2- 1- الهدف من العزل الحراري:

يهدف العزل الحراري للمباني إلى مايلي:

1- توفير الطاقة المستخدمة لأغراض التدفئة والتكييف.

2- تخفيض الضياع الحراري.

3- تخفيض الكلفة التأسيسية والصيانة لأجهزة وتمديدات أنظمة التدفئة وتكييف الهواء.

4- تأمين شروط الارتياح الحراري والأجواء الصحية لشاغلي البناء طيلة فصول السنة.

5- تجنب حدوث التكاثف أو التقليل منه على السطوح الداخلية للبناء في المناطق الباردة عند استخدام التدفئة وتجنب الأضرار الناجمة عن ذلك.

6 - تخفيض كلفة الصيانة الدورية الناتجة عن الإجهادات الحرارية للمباني.

7- إطالة العمر الاستثماري للبناء.

2-2- خصائص مواد العزل الحراري

تصنع المواد العازلة للحرارة من مواد مختلفة، منها مواد تكونت في الطبيعة مثل الصخور البركانية خفيفة الوزن كالخبث البركاني (البوزولان) والفيرميكيولايت والبيرلايت المعالج بالحرارة ومنها ما يغزل بوساطة الحرارة كالصوف الصخري والألياف الزجاجية، ومنها ما يصنع من مواد كيميائية كالبوليستيرين والبولي يوريثان.

ومن أهم المواصفات التي يتم تحديدها في مواد العزل الحراري مايلي:

أ-الإيصالية الحرارية (Thermal Conductivity):

هي مقدار التيار الحراري المار باتجاه عمودي على سطح مادة مساحتها متراً مربعاً واحداً وسماكتها متراً واحداً بفعل فرق في درجة الحرارة مقداره درجة حرارة سلسيوس واحدة بين سطحيها . وواحدة قياسها واط/(م.ك) (W/(m. K°) [4]..

تكمن أهمية هذه الخاصية في معرفة كمية الحرارة المنتقلة عبر الأجسام والعناصر الإنشائية المختلفة، وبالتالي اختيار الأنسب منها للاستعمال، وكذلك حساب معدلات الفقد والكسب الحراريين اللازمين لأغراض تصميم أنظمة التدفئة أو التبريد في المباني. وتمتاز المواد العازلة للحرارة بقيم منخفضة للإيصالية الحرارية مقابل قيم إيصالية مرتفعة للمواد الثقيلة كالمعادن وغيرها [4،5].

ب- الكثافة (Density):

وهي الخاصية التي تعبر عن وزن متر مكعب واحد من المادة العازلة للحرارة (كيلوغرام/ متر مكعب. وتتصف المواد العازلة للحرارة بانخفاض كثافتها، وقد يكون ذلك نتيجة لاحتوائها على مسامات وفراغات مملوءة بالهواء أو الغاز، وهي موزعة بأحجام وأشكال مختلفة في المادة حيث تشكل نسبة كبيرة من الحجم الكلي للمادة. وتكمن أهمية هذه الخاصية لأغراض تصميم أنظمة العزل الحراري بتحديد صفاتها من حيث موصليتها الحرارية وثبات مقاساتها وقدرتها على الاختزان الحراري والتأخر الزمني ومعامل النقص للعناصر الإنشائية الداخلة في تركيبها .كما أن معرفة الكثافة ضرورية في إجراء الحسابات الإنشائية لعناصر المباني المختلفة [4،5].

ج- امتصاص الماء (Water Absorption)

وتعبر امتصاصية الماء عن قدرة المادة أو قابليتها على امتصاص الماء عند غمرها فيه.

وتكمن أهمية هذه الخاصية في معرفة كمية الماء التي يمكن أن يستوعبها جسم العازل الحراري أثناء تعرضه للمياه، وبالتالي اتخاذ الإجراءات المناسبة لمنع وصول الماء إليه، حيث أن امتصاص المادة العازلة للماء يفقدها كفاءتها في عزل الحرارة [4،5].

د- امتصاص الرطوبة (Water Adsorption or Hygroscopy):

وهي الخاصية التي تعبر عن قدرة المادة على امتصاص الرطوبة من الهواء المحيط والتي تكون على شكل بخار ماء .

وتكمن أهمية هذه الخاصية في معرفة كمية الرطوبة التي يمكن للعازل الحراري امتصاصها وبالتالي اتخاذ الإجراءات المناسبة لمنع وصول الرطوبة إليه، مع السماح بخروج الرطوبة منه حيث أن وجود الرطوبة فيه يفقده كفاءته في عزل الحرارة [4،5].

هـ- مقاومة الضغط (Pressure Resistance):

وتعبر مقاومة الضغط عن قدرة المادة على تحمل ضغوط ميكانيكية تتعرض لها المادة أثناء عمليات النقل والتركيب، أو خلال عمرها التشغيلي دون حدوث تهشم أو تشوه لها أو فقدان لأي من خصائصها التشغيلية الأخرى.

و- مقاومة العوامل الجوية (Weathering Resistance):

وهي الخاصية التي تعبر عن مدى قدرة المادة على مقاومة العوامل الجوية عند تعرضها لها بشكل مباشر وبخاصة الأشعة فوق البنفسجية الناتجة عن أشعة الشمس إضافة إلى العوامل الأخرى كالأمطار والرياح والحرارة وغيرها. وتكمن أهمية هذه الخاصية في معرفة تأثير هذه العوامل على أداء

المادة وعلى عمرها التشغيلي عند استعمالها بشكل مكشوف ومعرض لهذه العوامل [4،5].

3- البوزولان

البوزولان Bozzolan يسمى في بعض الدول ومنها سورية بالخبث البركاني وهو مادة طبيعية ذات منشأ بركاني، ويطلق عليه في معظم الدراسات الأوربية والأميركية البوزولان نسبة لمدينة (بوزولي) في إيطاليا.

تبرز أهمية البوزولان بشكل عام كعازل حراري وصوتي و له استخدامات إنشائية في المباني في أعمال الخرسانة الخفيفة والبلوك الخفيف العازل بالإضافة لاستخداماته العملية الكثيرة في صناعة الاسمنت.

يتميز البوزولان عن كثير من مواد العزل الحراري والصوتي أنه مادة صديقة للبيئة والإنسان, كونه مادة طبيعية لا يحتاج لأي عملية كيميائية أثناء تجهيزه أو تطبيقه، وبالتالي فإن استخدامه يساهم في التخفيف من انبعاثات (CO_2) و الحفاظ على البيئة.

3-1- مصادر البوزولان في سورية:

البوزولان (الخبث البركاني) عبارة عن صخور طبيعية بركانية تمثل الطبقة السطحية للبراكين والتي تبردت بشكل سريع مما أدى لتشكيل الفراغات فيها نتيجة لتبخر الغازات وهذا أعطاها شكلها المسامي وخواصها في العزل الحراري والصوتي بالإضافة لخفة وزنها [6], تتواجد في الطبيعة بسماكات وسطية من (10 – 15) م ، بشكل حبيبات بأبعاد تتراوح بين (5 – 15) مم , الحبيبات ذات شكل مسامي، كما هو موضح في الصورة 1 .

تركيب البوزلان يماثل الصخور البازلتية تقريباً ومن أهم فلزاته ومقوماته الأوليفين (olivine) المكون من سيليكات المغنسيوم والحديد، وتركيبه الكيميائي $(\underline{Fe},\underline{Mg})_2Si_2O_4$ ، وفلز البيروكسين والبلاجيوكليز.

يتواجد البوزولان في معظم دول المنطقة (سورية– اليمن – السعودية – عُمان ...), و يوجد في سورية بشكل أساسي في أربع محافظات، محافظة السويداء وفيها اشهر المقالع المستثمرة حالياً (منطقة شهبا)، وفي محافظة درعا، وفي محافظة الرقة في منطقة بين الرقة ودير الزور تسمـــــــى (المناخر)، وفي محافظة الحسكة، إلا أن بوزولان السويداء هو الأفضل من ناحية خفة الوزن وقلة الشوائب فيه [7].

تمتلك سورية احتياطياً من الخبث البركاني يقدر بحوالي 3 مليارات طن بينما يبلغ الإنتاج السنوي بحدود مليون طن.

ان حجم الاحتياطي المقدر في السويداء من مادة الخبث البركاني يفوق 43 مليون طن موزعة في مواقع تل شيحان

ومنطقة شهبا والقلعة وغرارة إضافة إلى بعض المواقع الأخرى التي يتواجد فيها الخبث البركاني مشوباً باللون الأحمر في قرية مجادل . ويوجد احتياطيات تقدر بعشرات الملايين من الاطنان في مواقع مختلفة من المحافظة.

وتتصف مادة الخبث البركاني في السويداء بعازلية كبيرة وبنية زجاجية مكونة من بلورات الاوليفين والبلاجيوكلاز.

3-2- خواص البوزولان[8]

أ- الخواص الفيزيائية :

- الشفافية: غير شفاف لايسمح للضوء باختراقه .
- المغناطيسية: لا توجد لديه قوة مغناطيسية لجذب المعادن.
- الكهربائية: يتصف بعازلية جيدة للكهرباء.
- الإيصالية الحرارية: إيصالية البوزولان الخام ضعيفة (0.13 W/(m.K°)) =λ .

ب- الخواص الميكانيكية :

1- القسا وة : وهي مقاومة الصخر للخدش, ويعتبر الخبث البركاني متوسط القساوة .

2- القصافة : وهي القابلية للكسر عند التعرض للإجهادات, ويعد البوزولان مقاوم للكسر.

3- المرونة : البوزولان غير مرن.

4- الليونة : البوزولان غير لين.

5- الانفصام : يتميز بانفصام متوسط غير واضح.

ج- الخواص الكيميائية :

ويتضمن تفاعله مع الحموض والأملاح والماء, فهو لا يتأثر بالماء أو بالمواد الكيميائية, وهو بشكل عام خامل كيميائياً.

د – الخواص الحرارية :

وتتضمن قابليته للانصهار فهو يتحمل درجات عالية تصل حتى /1200 /م^0 قبل أن ينصهر.

4- البيرلايت

البيرلايت Perlite هو نوع من الصخور البركانية الشفافة المتكونة من اللافا ذات التكوين الكيميائي المحدد والحاوية على الماء المتبلور. تسحق خامة البيرلايت وتجفف ثم تعرض لدرجة حرارة مفاجئة تقارب درجة تلينها – 1100890C° فيتبخر الماء المتبلور داخلها بسرعة مسبباً تمددها ليتضاعف حجمها من (4-20) ضعف حجمها الأصلي. ينتج عن عملية التمدد هذه فجوات هوائية لا تحصى في الحبيبات تمنح البيرلايت خفة الوزن وتجعل له خاصية عزل ممتازة. ويتمتع البيرلايت بمواصفات فيزيائية خاصة فمظهره عبارة عن حبيبات كروية بشكل خلايا مسامية مغلقة كما يظهر في الصورة 2 ويتصف البيرلايت بخفة الوزن.

ويبين الجدول (1) التركيب الكيميائي للبيرلايت السوري [9].

كما ويبين الجدول (2) أهم الخواص الفيزيائية للبيرلايت.

5- الطرائق والمواد

5-1 الشروط المخبرية للعينات وجهاز قياس تحمل الضغط (الكسر) :

5-1-1- تجهيز عينات الخرسانة:

حسب الكود العربي السوري [10] فإن عينات التجارب تكون أسطوانية الشكل أو مكعبية، الأسطوانية بقطر 15 cm وطول 30 cm أما المكعبية فبضلع 20cm أو 15 cm، بالنسبة إلى القوالب يصنع القالب من مادة كتيمة كالمعادن وبتسامح15m.m للأقطار و6mm للأطوال، يدهن القالب بالزيت قبل الاستعمال.

بالنسبة إلى صب العينات في القالب، تصب على ثلاث طبقات متساوية بعد أن تدك وتحشى بقضيب معدني مدبب بقطر 15mm وطول 60mm حوالي 25 مرة وبحركة دائرية منتظمة، ثم يغطى القالب بلوح من الزجاج أو بصفيحة معدنية لمنع التبخر، وأحياناً إذا لم يكن سطح العينة مستوياً يسوى بإضافة معجونة إسمنتية تدعى بالقبعة تضاف بعد ساعتين من الصب.

5 – 1-2- جهاز قياس تحمل العينات على الضغط (جهاز كسر العينات):

الجهاز مؤلف من مكبس هيدروليكي (نوع AMSLAR) متحرك يمكن التحكم بسرعته (5 mm/min مثلاً) يمثل أحد فكي جهاز الضغط المطبق، ويتم تحديد ضغط الانهيار عند تساوي سرعة المكبس مع معدل التشوه فهذا يعني حدوث الانهيار.

5-1-3- حفظ العينات ومعالجتها:

بعد الصب وخلال 24 ساعة تحفظ العينات بعيداً عن الشمس بدرجة حرارة27 – C16 وبعد انقضاء 24 ساعة تفك القوالب وتوضع العينات في مكان رطب وبدرجة حرارة 24 – C18، ويفضل حفظها في ماء ساكن لحين إجراء التجارب بعد 28 يوماً.

يتم إخراجها من الماء قبل 48 ساعة من إجراء التجارب، حيث يتم تجهيز العينة في شروط مماثلة لشروط التنفيذ بعد إجراء الاختبار.

ملاحظة: تم اعتماد أبعاد عينات مكعبية 15x15x15 cm والتي تناسب تجربة الكسر وتجربة معامل الإيصالية الحرارية.

5-2- تصميم التراكيب الحبية للعينات:

5-2-1- خواص المواد الأولية للمواد الحصوية:

المواد الأولية المختارة والداخلة في تركيب العينات البيتونية:

- بيرلايت (صنع شركة مهران في سورية)

- بوزولان خشن – بوزولان ناعم (السويداء)
- اسمنت بورتلاندي عادي (صنع مؤسسة الإسكان العسكرية في سورية)
- رمل كلسي
- ماء

ويبين الجدول 3 كثافة المواد الأولية للمواد الحصوية المستخدمة.

وبإجراء تجربة التركيب الحبي لمادة البوزولان الخشن والبوزولان الناعم والرمل الكلسي كل على حدة في مخبر تجريب المواد في كلية الهندسة المدنية بجامعة حلب باستخدام سلسلة المناخل من 19.1 ملم وحتى 0.074 ملم حصلنا على النتائج الملخصة في الجدول 4.

5-2-2- تصميم التراكيب الحبية للعينة المرجعية A :

نلاحظ من الجدول 4 التداخل في أقطار الحبات بين المواد الأولية الأربعة مما يجعل الحل التخطيطي هو الأسهل من أجل اختيار التراكيب الحبية المناسبة.

وقد تم تصميم الخلطة المرجعية (لا تحوي بيرلايت) على مرحلتين وذلك بالأخذ بالاعتبار المحددات التالية:

أ- **التركيب الحبي الجيد:** في المرحلة الأولى وبالاعتماد على مجال النسب المقترحة في الكود السوري للخرسانة تم اختيار نموذج المقياس الاعتباري 19.5 ملم بسبب مطابقة أقطار المواد الأولية لأقطاره.

وبتصميم عدة خلطات تخطيطياً تم الوصول إلى النسب الوزنية المثلى للمواد الأولية في التركيب الحبي للمواد الحصوية والمبينة في الجدول 5 .

وهذه النسب توافق التركيب الحبي المبين بالجدول 6 والمخطط المبين بالشكل 2 .

ب - تحقيق قابلية التشغيل workability : (المرحلة الثانية) إن التركيب الحبي الجيد يعطي إمكانية الحصول على بيتون متجانس ومتماسك ولكنه قد لا يعطي درجة تشغيل جيدة بسبب اختلاف كثافات المواد الأولية للركام بالإضافة الى شكل حبيباتها (الحبيبات المنتظمة والملساء والكروية ونسبة الماء/اسمنت تؤثر على تشغيل البيتون) .

وقد تم تجريب التركيب الحبي الأولي عملياً بخلط المواد الأولية بالنسب المذكورة في الجدول 6 مع اضافة الاسمنت (بمعدل 350كغ اسمنت/م3) والماء (بنسبة الماء /إسمنت: 0.7) وتبين نتيجة لذلك ضعف تشغيل البيتون الممزوج وبناء على ذلك تم في المرحلة الثانية تعديل النسب إلى أن تم الوصول إلى درجة تشغيل جيدة (تجانس المواد بعد خلطها وعدم عزل المواد الناعمة عن الخشنة) وبذلك تم الوصول إلى التركيب الحبي المرجعيA الموضح في الشكل 3.

6-2-3- تصميم عينات التجارب المضاف اليها بيرلايت B,C,D:

تم في المرحلة السابقة تصميم العينة المرجعية A (لا تحوي على بيرلايت). إن تحديد العينات التالية قد تم بتثبيت النسب الوزنية للمواد الخشنة (البوزولان) وتغيير نسبة البيرلايت (الأخف وزناً) وبشكل متناسب عكساً وخطياً مع نسبة الرمل الكلسي بهدف المحافظة على التركيب الحبي الجيد للمواد الحصوية وبسبب تقارب التركيب الحبي للبيرلايت مع التركيب الحبي للرمل الكلسي وبذلك حصلنا على التراكيب المبينة في الجدول 7.

وهذه النسب توافق التراكيب الحبية في الجدول 8.

وقد تم صب 4 عينات من كل خلطة من الخلطات الأربعة لكل تجربة بعيار اسمنت 350كغ/م3 ونسبة ماء/اسمنت=0.7 وفق شروط صب العينات المبين أعلاه.

ولتحضير العينات الحاوية على بيرلايت، تم أولاً خلط كل المواد الأولية فيها ماعدا البيرلايت والماء ثم جرى إضافة البيرلايت ومن ثم إضافة الماء والمزج. ويمكن عكس العملية بإضافة الماء أولاً والمزج ثم إضافة البيرلايت أخيراً وهذه الطريقة أفضل نظرياً لأنها تخفف من نسبة تقصف حبيبات البيرلايت وتعطي نتائج عازلية أفضل بنسبة بسيطة, ولكننا اخترنا الطريقة الأولى كونها تعطي نتائج أكثر واقعية كون عملية صب البيتون في الحياة العملية تحتاج إلى الخلط المستمر حتى الوصول إلى لحظة الصب بالإضافة إلى ضرورة رج البيتون بعد الصب لتأمين الاكتناز وعدم تشكل الفجوات الهوائية.

تأثير نسبة البيرلايت على كثافة العينات

بأخذ القيم الوسطية لوزن العينات بعد جفافها تم الحصول على القيم التالية لوزن العينات، وحسبت قيم الكثافة الجافة المبينة في الجدول 9.

تأثير نسبة البيرلايت على الايصالية الحرارية للعينات

تم قياس معامل الإيصالية الحرارية لعينة واحدة من كل من النماذج الأربعة في المركز الوطني لبحوث الطاقة في دمشق المتخصص في أبحاث الطاقة وبصياغة التشريعات المتعلقة بكفاءة الطاقة في سورية بالإضافة إلى تأهيل الكوادر العلمية في مجال تطبيقات العزل وإدارة الطاقة في المباني. الجهاز المستخدم من نوع ISOMET Model 2104 والذي يقيس معامل الإيصالية الحرارية λ بشكل مباشر للمواد الصلبة ويشترط أن يكون سمك العينة لا يقل عن 5 سم وسطحها صقيل تماماً وخالي من الثقوب. وله مجس (PROBE) لقياس معامل λ لمواد العزل نصف الصلبة semi-solid مثل ألواح الستريوبور وغيرها.

نلاحظ أن قيمة معامل الإيصالية الحرارية بالنسبة للعينة D قد أعطت قيمة شاذة والسبب هو الرطوبة الواضحة للعينة. وبحساب معامل الإيصالية الحرارية للعينة D بالموزونة

الحسابية بالاعتماد على قيم λ المقاسة للعينات الثلاثة الباقية نجد λ_D=0.237

طريقة لحساب معامل الإيصالية الحرارية لعينات البيتون بعلاقة رياضية بالاعتماد على كثافتها ومقارنة القيم الناتجة مع القيم المقاسة:

يعطى فيم تقريبية لمعامل الإيصالية الحرارية حسابياً حسب ACI بالعلاقة:

$$\lambda = 0.072 x e^{0.00125\rho}$$

حيث ρ الكثافة بواحدة Kg/m3

λ معامل الإيصالية الحرارية W/ (m.K °)

ويعرض الجدول 10 قيم λ التقريبية و القيم المقاسة لـ λ لعينات الخلطات المختارة.

ونلاحظ أن مقدار الخطأ الحاصل من حساب λ بالعلاقة المذكورة يصل إلى 37 % عن قيمة λ المقاسة.

3- تأثير نسبة البيرلايت على إجهاد الإنكسار :

تم كسر العينات بالشروط والظروف المذكورة سابقاً لأربع عينات من كل نوع من الأنواع الأربعة.

مناقشة النتائج:

1- إن إستبدال جزء من الرمل المستخدم (الرمل الكلسي) بمادة البرلايت أدى إلى خفض قيمة الكثافة الجافة كما يظهر في الشكل 4 والعلاقة بين نسبة البرلايت والكثافة علاقة عكسية وهذا منطقي لأن كثافة البرلايت أقل من كثافة بقية مواد الخلطة الجافة.

2- يمكن الحصول على قيم مقاومة مقبولة لخلطات البيتون البيرلايتي بإدخال احضارات قليلة الكثافة وذات مقاومة عالية مثل البوزولان وبتصميم تدرج حبي جيد وتكون هذه المقاومات جيدة مقارنة بمقاومة البلوك العازل الحراري كما يظهر الشكل 5.

3- أظهرت الأعمال المخرية أن تأخر جفاف العينات الحاوية على بيرلايت أكثر عن العينات الأخرى التي لا تحوي على بيرلايت أو ذات محتوى بيرلايت أقل, مما ينعكس سلباً على قيمة الإيصالية الحرارية لها كما رأينا بالنسبة للعينة D في تجربة قياس الإيصالية الحرارية. ومن هنا نجد ضرورة العزل الرطوبي الجيد للبيتون البيرلايتي بسبب الطبيعة الاسفنجية للبيرلايت حيث أن الرطوبة تفقد خاصية العزل الحراري لهذه المادة أو يخفضها إلى حد كبير.

4- تظهر الأشكال السابقة أن استخدام البيرلايت في الخلطات البيتونية بتدرج حبي تصميمي جيد يؤدي إلى إنتاج مواد بناء جديدة لها أثر كبير في تحسين

الأداء الحراري للمبنى بالإضافة إلى تخفيض الحمولات على المبنى (الحمولات الميتة) مما ينعكس على تخفيض كلفة التأسيس وتخفيض كلفة الهدم والإزالة بعد نهاية عمر المبنى التصميمي بالإضافة إلى استخدام مواد محلية رخيصة. كما يظهر الشكل 8 انخفاض الايصالية الحرارية المقاسة يكون أكبر من معدل انخفاض الكثافة الجافة وهذا يعود في الغالب إلى طبيعة المواد واحتكاكها مع بعضها مما يزيد من نسبة الفراغات الهوائية في الخليط.

5- نلاحظ أن استخدام العلاقة الأسية لحساب λ والمعتمدة في معهد البيتون الأمريكي ACI أعطت نتائج تباينت عن القيم المقاسة وكانت أقل بمقدار وصل إلى 37 % في النسب الصغيرة من الاستبدال ونقص هذا الفرق بشكل ملحوظ مع زيادة نسبة البرلايت المستبدل حتى كاد ينعدم ومرد ذلك أن الخلطات تكون مع النسب القليلة من الاضافة خلطات عادية ومع زيادة نسبة الاضافة تصبح من صنف الخلطات الخفيفة والخلطات الخفيفة العازلة وبالتالي يمكن أن تمثلها علاقة ACI بشكل جيد. لذلك يجب الاعتماد على القيم المقاسة بجهاز قياس الإيصالية الحرارية عند نسب الاستبدال القليلة ويمكن استخدام العلاقات الرياضية التي تربط بين قيمة λ والكثافة من باب الاستئناس والتقريب.

6- ويمكن من خلال العلاقة بين نسبة البيرلايت والمقاومة على الضغط والايصالية استنتاج نسبة البيرلايت المتاحة بناء على الإجهاد المطلوب، كما يمكن استنتاج نسبة الإضافة المثلى التي تحقق أفضل ايصالية مع أفضل مقاومة بآن معاً كما يظهر في الشكل 10.

7- أظهرت الأعمال المخبرية أن تأخر جفاف العينات الحاوية على بيرلايت أكثر عن العينات الأخرى التي لا تحوي على بيرلايت أو ذات محتوى بيرلايت أقل, مما ينعكس سلباً على قيمة الإيصالية الحرارية لها كما رأينا بالنسبة للعينة D في تجربة قياس الإيصالية الحرارية. ومن هنا نجد ضرورة العزل الرطوبي الجيد للبيتون البيرلايتي بسبب الطبيعة الاسفنجية للبيرلايت حيث أن الرطوبة تفقد خاصية العزل الحراري لهذه المادة أو يخفضها إلى حد كبير.

التوصيات:

1- المصمم الطاقي يجب أن يملك مجموعة كبيرة من الخيارات من أجل استخدام المواد والآليات الأنسب للحالة المدروسة (مثل الحاجة إلى مقاومة انشائية معينة وعازل صوتي أو حراري أو حريق بقيم معينة) مع أخذ الظروف المحيطة بعين الانتباه (حرارة –رطوبة – اشعاع شمسي ..) وعدم التقيد بمواد محددة أو الانتباه إلى خاصية مع اغفال الخواص الأخرى لمادة العزل المستخدمة.

2- عدم الاعتماد على العلاقات التجريبية في حساب معامل الإيصالية الحرارية للمواد بالاعتماد على كثافتها الرطبة لأن العلاقات التجريبية لا تعطي قياساً دقيقاً لقيمة λ ، بيد أنها تعد مؤشر يمكن الاستئناس به بدقة غير مقبولة في حساب معامل الإيصالية الحرارية .

المراجع:

[1]-R.Dylewski and J.Damczyk "Economic and environmental benefits of thermal insulation of building external walls",Building and Environment 46, 2011.

[2] -F.Al-Neshawy "Thermal insulation for Building", CIV-E 1010 Building Material Technology, Aalto University ,2012, p21.

[3] أمين محمد حسين عفيفي "العمارة المتوافقة بيئياً كمدخل للحفاظ على المباني ذات القيمة التاريخية في مصر "، رسالة ماجستير تم الدفاع عنها في جامعة عين شمس ، 2013 م.

[4] الكودات العربية الموحدة لتصميم وتنفيذ المباني" كودة العزل الحراري."

[5] كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية.

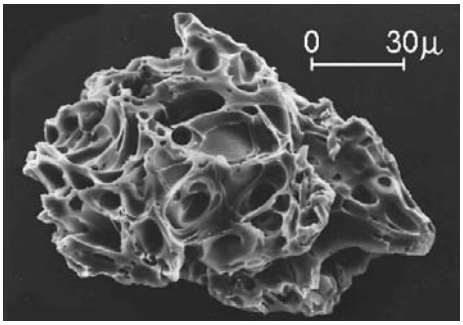
[6]R.Wkker and S. Pavia "Physical properties and reactivity of pozzolans, and their influence on the properties of lime–pozzolan pastes" Material and Structures, volume 44issue 6,pp1139-1150.

[7] راكان حاج أسد "تحسين المواصفات الحرارية للخرسانة باستخدام البوزولان"، رسالة دراسات عليا في كلية الهندسة الميكانيكية بجامعة حلب، 2010 م.

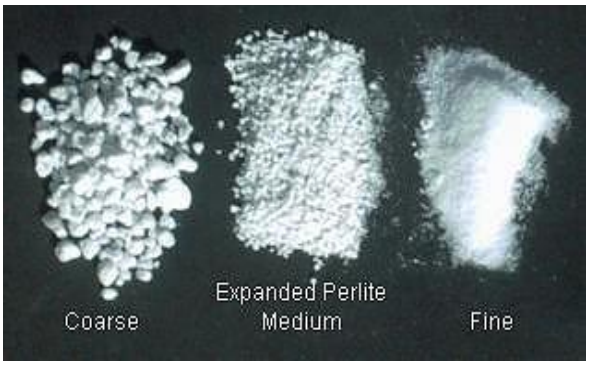
[8] M.I. Khan,and A.M. Alhozaimy "Properties of natural pozzolan and its potential utilization in environmental friendly concrete" Canadian journal of civil engeneering ,volume 38 , number1,January 2011 pp 71-78.

[9]Mihran Company "Wat is Perlite " www.perliteco.com.

[10] الكود العربي السوري لتصميم و تنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة.



الصورة 1: الشكل المسامي لحبيبة خبث بركاني مكبرة .



الصورة 2: مظهر البيرلايت السوري ذي اللون الأبيض الثلجي إلى الأبيض الرمادي.

جدول 1: التحليل الكيميائي للبرلايت الخام

الأكسيد	الرمز الكيميائي	النسبة المئوية
ثاني أكسيد السليكون	SiO_2	72-76%
أكسيد الألمينيون	Al_2O_3	11-17%
أكسيد البوتاسيوم	K_3O	4-5%
أكسيد الصوديوم	Na_2O	2.9-4%
أكسيد الكالسيوم	CaO	0.5-2.5%
أكسيد الحديديك	Fe_2O_3	0.5-1.5%
أكسيد الماغنيسيوم	MgO	0.1-0.5%
ثاني أكسيد التيتانيوم	TiO_2	0.03-0.2%
المحتوى المائي	H_2O	2-6%

جدول 2: الخصائص الفيزيائية للبرلايت.

الخواص	الوحدة	القيمة
اللون	-	أبيض
معامل الانكسار	-	1.5
الرطوبة المطلقة	%	أقل من 0.5
الكثافة الظاهرية	Kg/m^3	240-35
الحجم الحبيبي	mm	0-5.0
الايصالية الحرارية	W/mk	0.04-0.06
PH	-	6.5-7.5
درجة التلين	C^O	780-1100
درجة الإنصهار	C^O	1280-1350
الحرارة النوعية	Jol/KgK^O	837
الوزن النوعي	-	2.2-2.4
قابلية الذوبان	المحاليل الحامضية المركزة ماءات الصوديوم الأحماض الأمينية	%100 أقل من 10% أقل من 3%
قابلية الاحتراق	-	لا يحترق

جدول 3: كثافة المواد الأولية.

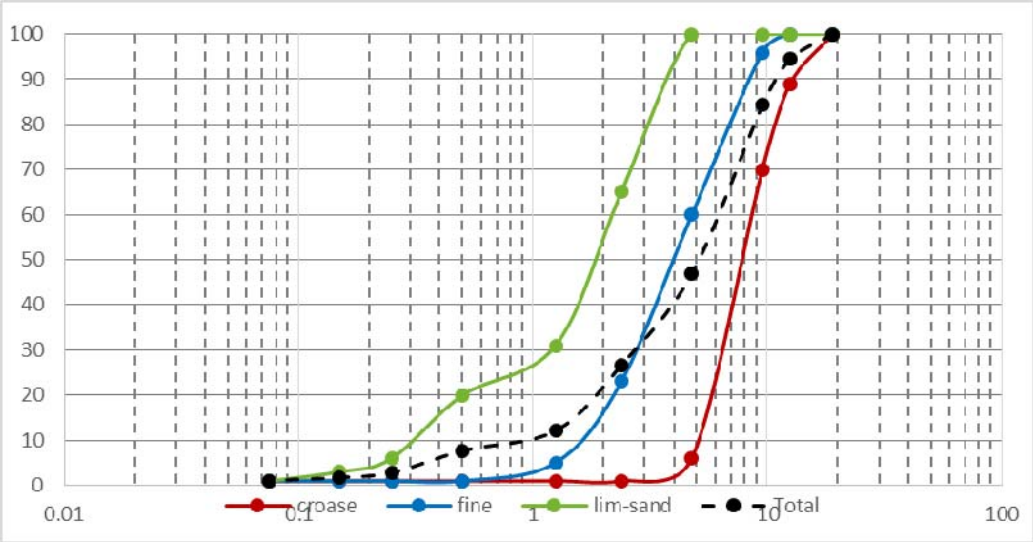
	المادة	الكثافة كغ/م3
1	بوزولان خشن	519
2	بوزولان ناعم	722
3	بيرلايت	126
4	رمل كلسي (نحاتة)	1425

جدول 4 : نتائج تجربة التراكيب الحبية للمواد الحصوية الأولية.

نسبة المار وزناً				قطر المنخل	
بيرلايت	رمل كلسي (نحاتة)	بوزولان ناعم	بوزولان خشن		
%	%	%	%	مم	انش
100	**100**	**100**	**100**	19.1	**3/4**
100	**100**	**100**	**89**	12.5	**1/2**
100	**100**	**96**	**70**	9.52	**3/8**
100	**97**	**60**	**6**	4.76	**رقم 4**
65	**78**	**23**	**1**	2.38	**رقم 8**
31	**55**	**5**	**1**	1.25	**رقم 16**
20	**37**	**1**	**1**	0.5	**رقم 30**
6	**7**	**1**	**1**	0.25	**رقم 60**
3	**3**	**1**	**1**	0.149	**رقم 100**
1	**1**	**1**	**1**	0.074	**رقم 200**
0	**0**	**0**	**0**	**قعر**	

جدول 5 :النسب الأولية التصميمية للمواد الحصوية.

	المادة	النسبة الوزنية
1	بوزولان خشن	50%
2	بوزولان ناعم	15%
3	رمل كلسي (نحاتة)	35%



الشكل1 : نتائج تجربة التراكيب الحبية للمواد الحصوية الأولية.

الجدول 6 : التركيب الحبي للخلطة الأولية للمواد الحصوية.

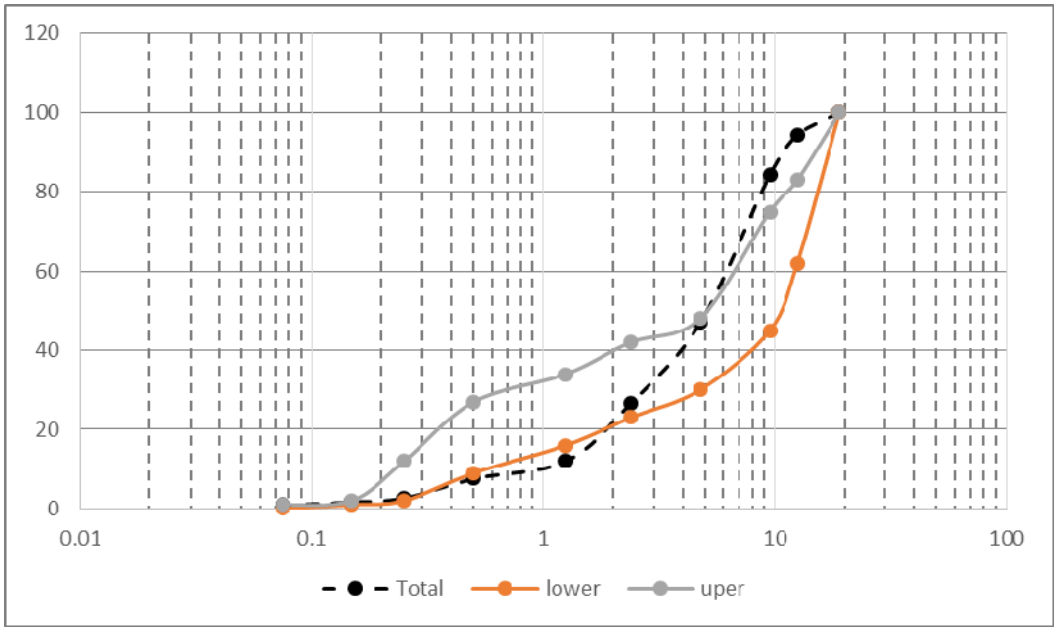
نسبة المار وزنا % للتركيب المدروس	نسبة المار وزنا % للتراكيب الحبي المقترحة حسب الكود السوري (نموذج المقياس الاعتباري 19.5 ملم)			قطر الغربال	
تركيب 1	حد أعلى		حد أدنى	مم	انش
100	100	-	100	19.1	3/4
94	83	-	62	12.5	1/2
84	75	-	45	9.52	3/8
46	48	-	30	4.76	رقم 4
31	42	-	23	2.38	رقم 8
20	34	-	16	1.25	رقم 16
14	27	-	9	0.5	رقم 30
3	12	-	2	0.25	رقم 60
2	2	-	1	0.149	رقم 100
1	1	-	0	0.074	رقم 200

جدول 7 :النسب المئوية الوزنية للمواد الحصوية الداخلة في الخلطات المختارة.

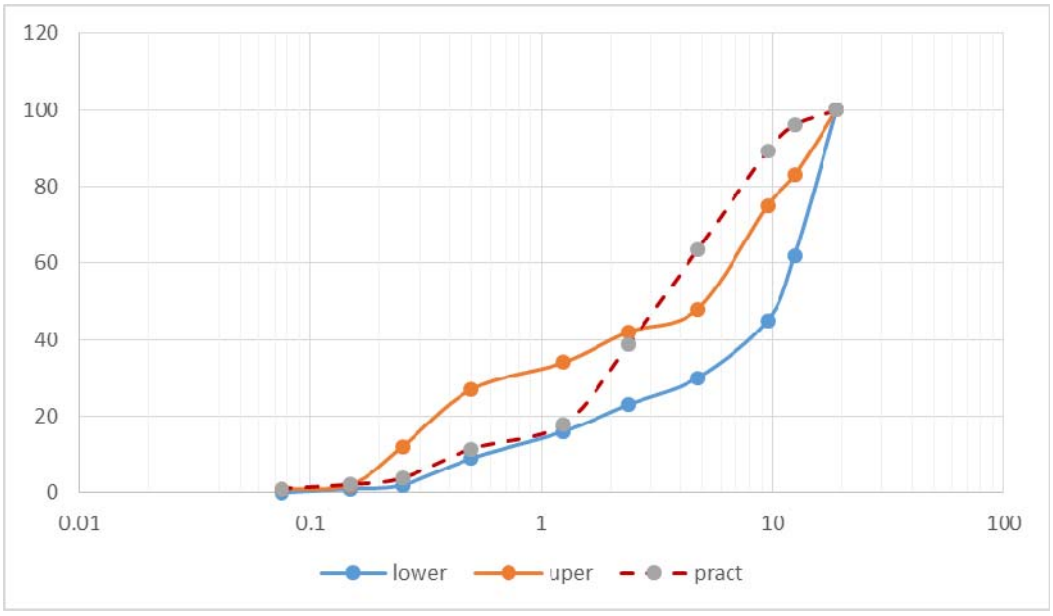
مادة الركام	**تركيب A**	**تركيب B**	**تركيب C**	**تركيب D**
بوزولان خشن	34%	34%	34%	34%
بوزولان ناعم	11%	11%	11%	11%
بيرلايت	0%	16%	32%	48%
رمل كلسي (نحاتة)	55%	39%	23%	7%

الجدول 8 : التراكيب الحبية لمواد حصوية الداخلة في الخلطات المختارة.

قطر الغربال		**النسبة المئوية المارة %**			
انش	مم	تركيب A	تركيب B	تركيب C	تركيب D
3/4	19.1	100	100	100	100
1/2	12.5	96	96	96	96
3/8	9.52	89	89	89	89
رقم 4	4.76	62	62	63	63
رقم 8	2.38	46	44	42	40
رقم 16	1.25	31	27	23	20
رقم 30	0.5	21	18	16	13
رقم 60	0.25	4	4	4	4
رقم 100	0.149	2	2	2	2
رقم 200	0.074	1	1	1	1



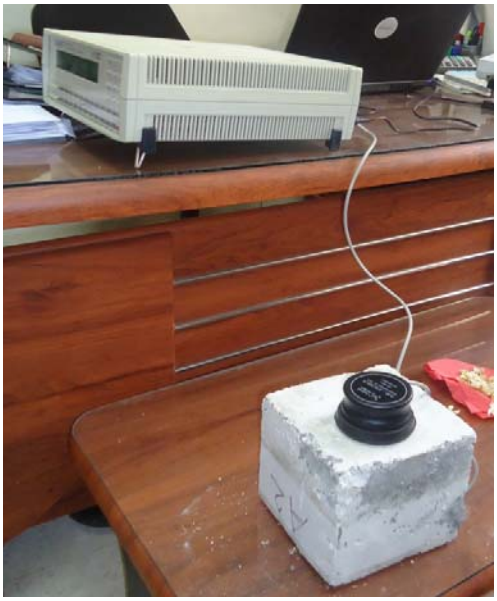
الشكل2 : التركيب الحبي الجيد مقارنة مع تراكيب الحد الأعلى والأدنى في الكود العربي السوري.



الشكل 3: التركيب الحبي الجيد الذي يحقق قابلية التشغيل المطلوبة.

الجدول 9 : الكثافة الجافة لعينات الخلطات المختارة.

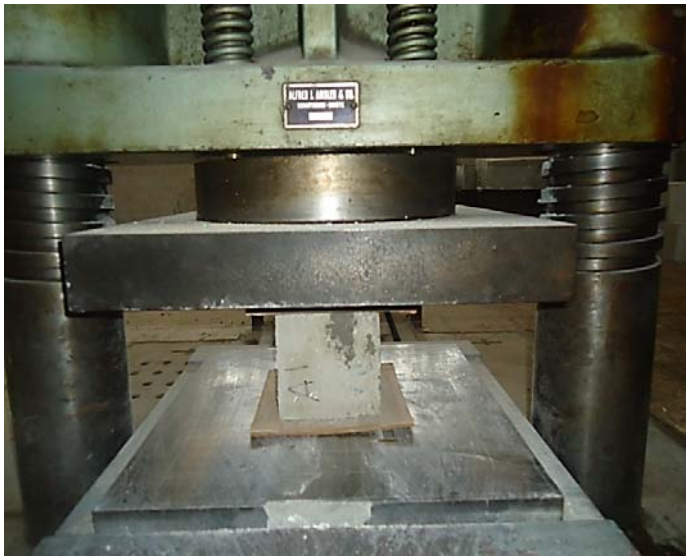
الخلطة	العينة	الوزن الجاف kg))	الكثافة الجافة kg/m3))	متوسط الكثافة الجافة للخلطة((kg/m3
A	1	5.62	1665.185	1658.52
	2	5.58	1653.333	
	3	5.63	1668.148	
	4	5.56	1647.407	
B	1	4.05	1200	1197.78
	2	3.98	1179.259	
	3	4.12	1220.741	
	4	4.02	1191.111	
C	1	3.48	1031.111	1028.89
	2	3.36	995.5556	
	3	3.42	1013.333	
	4	3.63	1075.556	
D	1	3.11	921.4815	954.07
	2	3.24	960	
	3	3.3	977.7778	
	4	3.23	957.037	



الصورة 3: جهاز قياس معامل λ للمواد الصلبة.

جدول 10: العلاقة بين نسبة البيرلايت ومعامل λ.

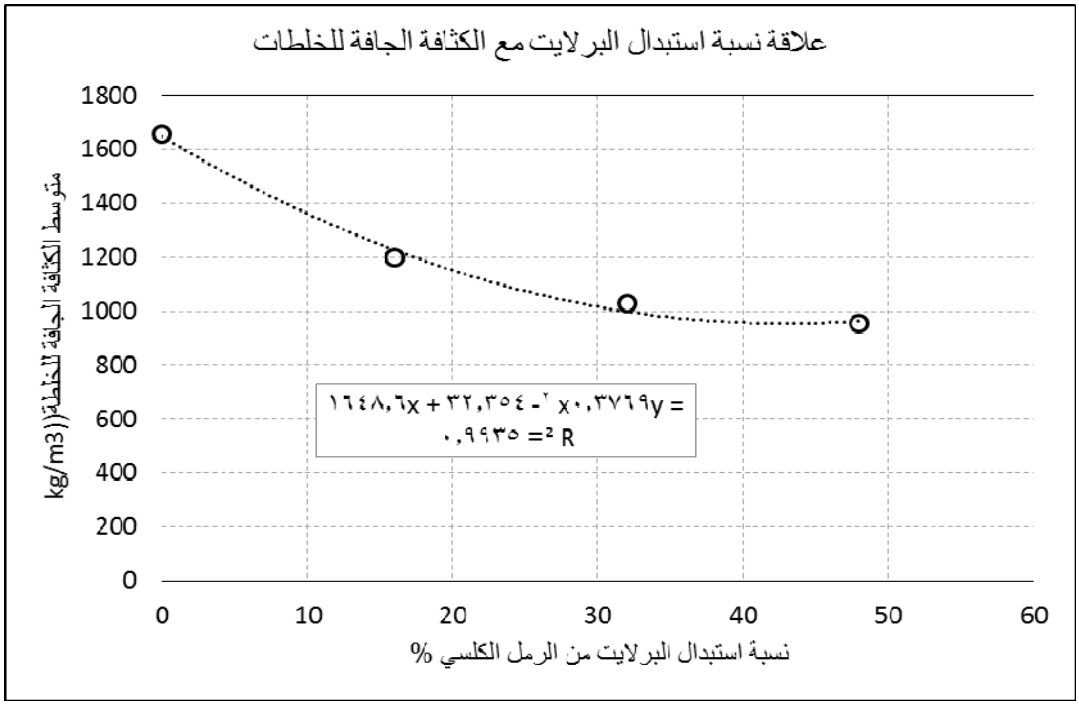
الخلطة	العينة	نسبة البرلايت الوزنية في الخلطة (%)	الإيصالية الحرارية المقاسة w/mk))	الكثافة الجافة kg/m3))	الإيصالية الحرارية من علاقة ACI (w/mk)	متوسط الإيصالية الحرارية المقاسة w/mk))	متوسط الإيصالية الحرارية من علاقة ACI (w/mk)	الفرق النسبي بين قيم الايصالية المقاوسة وقيم علاقة(%) ACI
A	1	0	0.922	1665.19	0.577	0.914	0.572	37.372
	2		0.912	1653.33	0.569			
	3		0.904	1668.15	0.579			
	4		0.918	1647.41	0.564			
B	1	16	0.419	1200.00	0.323	0.426	0.322	24.450
	2		0.431	1179.26	0.314			
	3		0.428	1220.74	0.331			
	4		0.426	1191.11	0.319			
C	1	32	0.286	1031.11	0.261	0.293	0.261	11.015
	2		0.302	995.56	0.250			
	3		0.286	1013.33	0.256			
	4		0.298	1075.56	0.276			
D	1	48	0.258	921.48	0.228	0.251	0.237	5.559
	2		0.245	960.00	0.239			
	3		0.251	977.78	0.244			
	4		0.506	957.04	0.238			



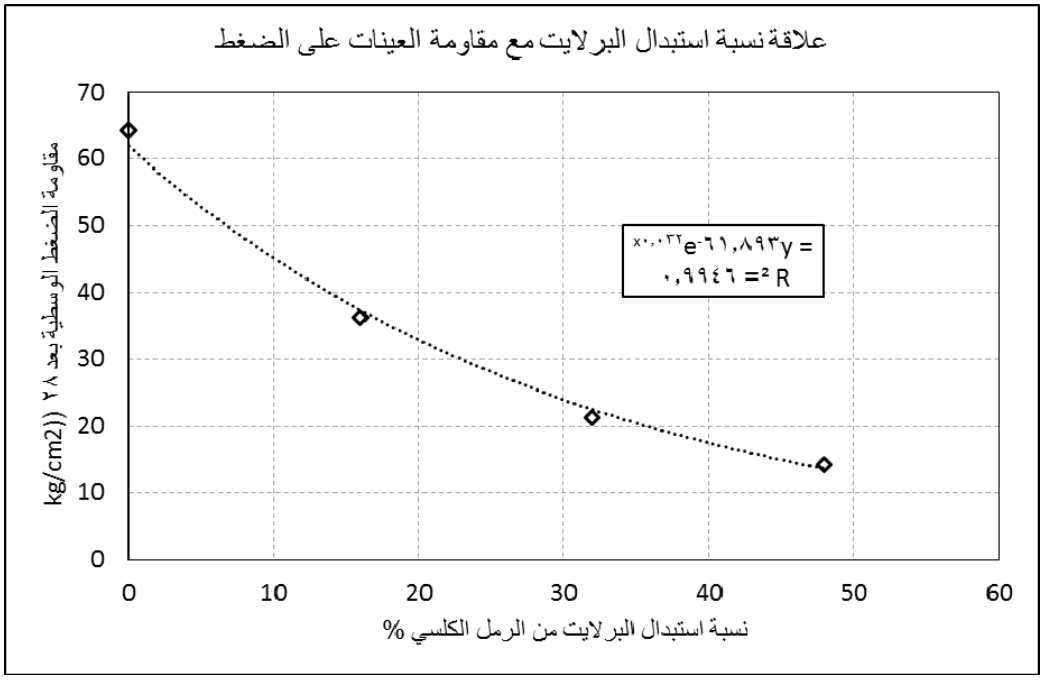
الصورة 4: تجربة كسر العينة A1.

الجدول 12: العلاقة بين نسبة البيرلايت وإجهاد الكسر.

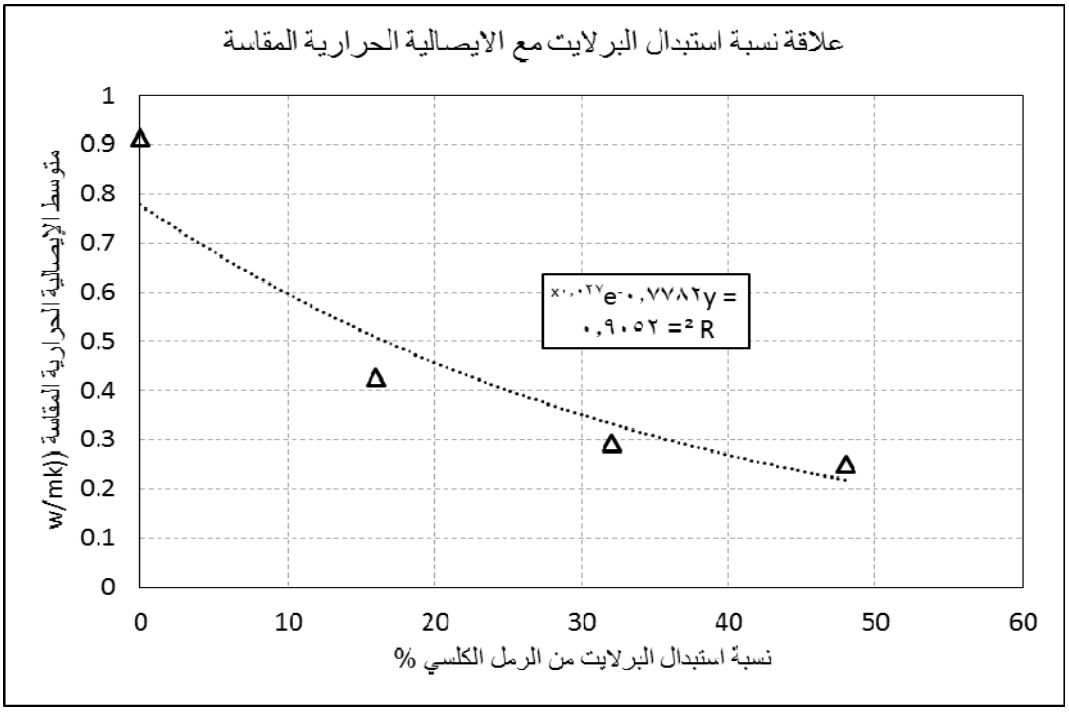
الخلطة	العينة	حمولة الانكسار بعد 28 ((ton	أبعاد العينة ((cm	إجهاد الكسر بعد 28 ((kg/cm2	إجهاد الكسر الوسطي بعد 28 ((kg/cm2
A	1	14.49	15×15×15	64.40	64.27
	2	14.38	15×15×15	63.91	
	3	14.52	15×15×15	64.53	
	4	14.45	15×15×15	64.22	
B	1	8.18	15×15×15	36.36	36.21
	2	8.25	15×15×15	36.67	
	3	8.21	15×15×15	36.49	
	4	7.95	15×15×15	35.33	
C	1	4.87	15×15×15	21.64	21.43
	2	4.73	15×15×15	21.02	
	3	4.78	15×15×15	21.24	
	4	4.91	15×15×15	21.82	
D	1	3.15	15×15×15	14.00	14.22
	2	3.24	15×15×15	14.40	
	3	3.22	15×15×15	14.31	
	4	3.19	15×15×15	14.18	



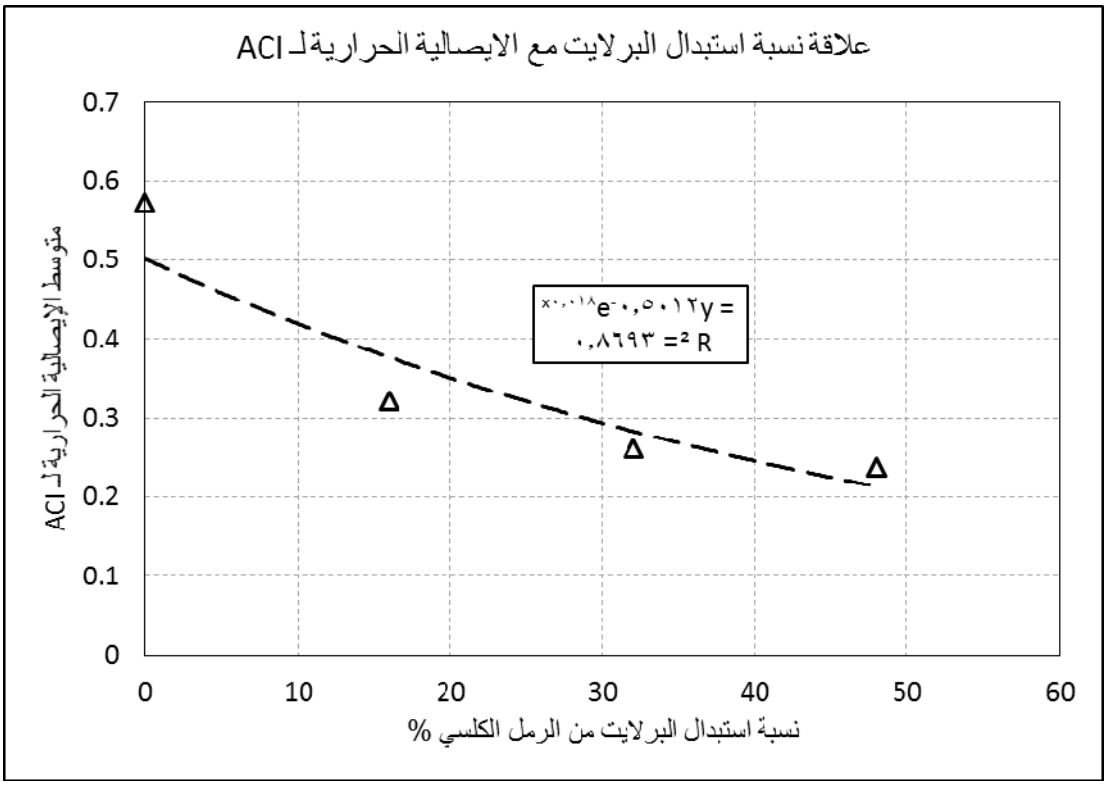
الشكل 4: علاقة الكثافة بنسبة استبدال الرمل الكلسي الموجود في الخلطة بالبرلايت.



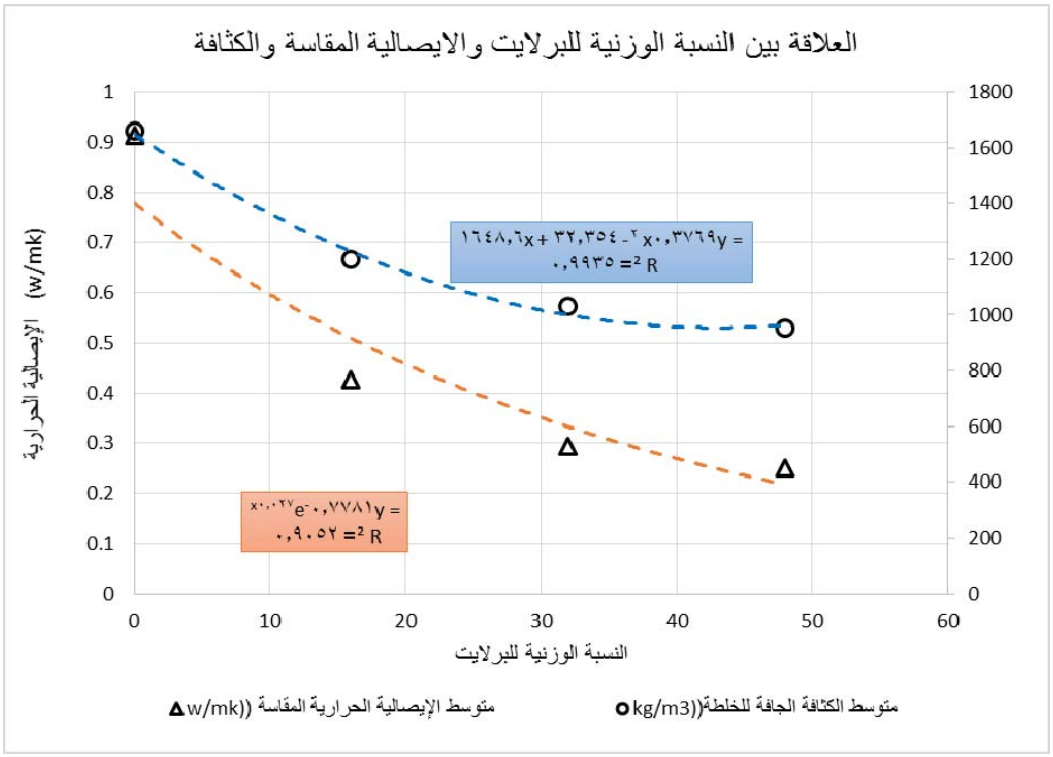
الشكل 5: علاقة المقاومة على الضغط بنسبة استبدال الرمل الكلسي الموجود في الخلطة بالبرلايت.



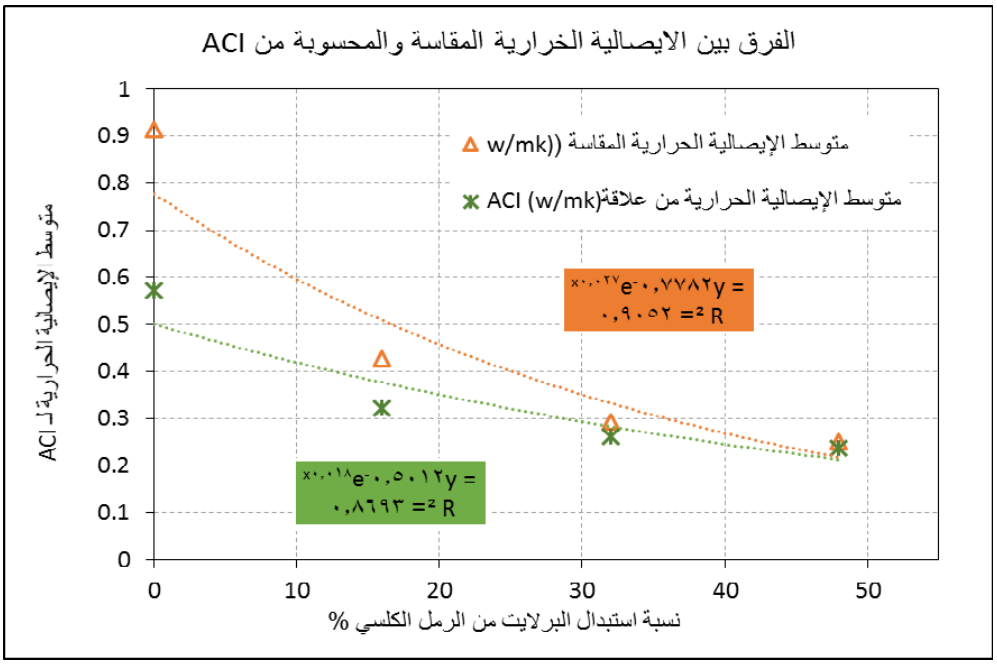
الشكل 6: علاقة الايصالية الحرارية المقاسة بنسبة استبدال الرمل الكلسي الموجود في الخلطة بالبرلايت.



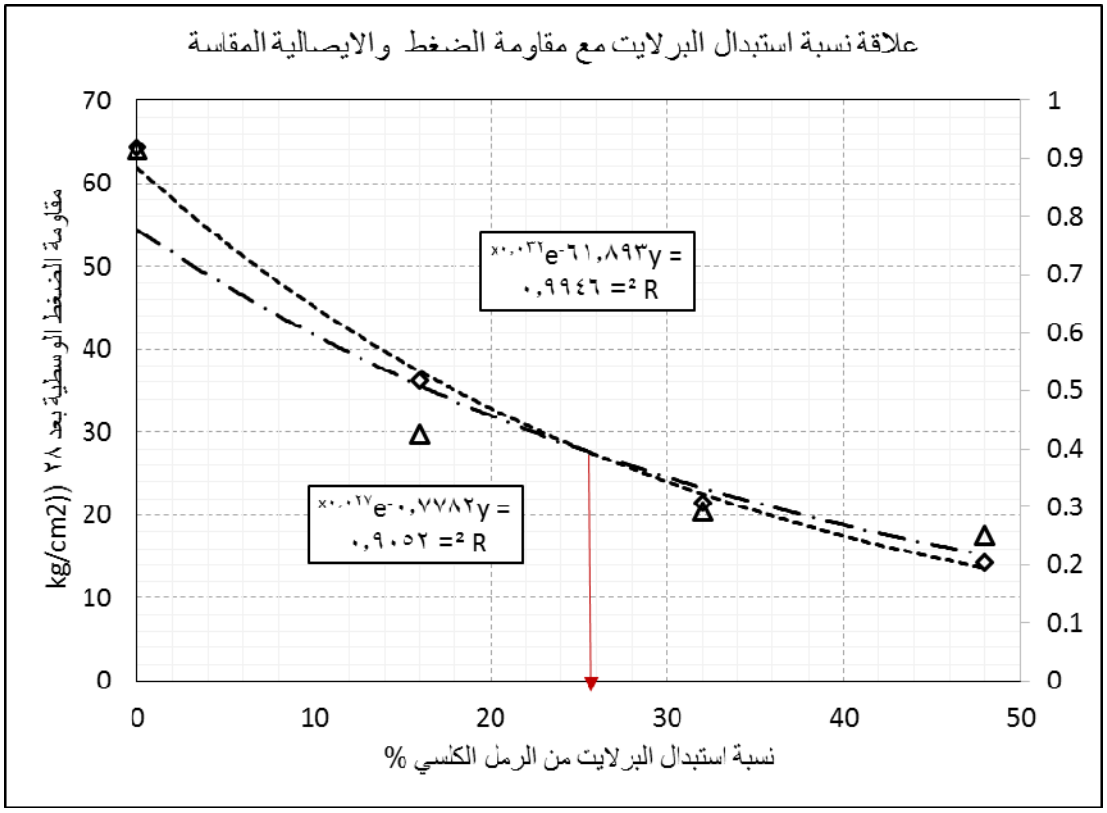
الشكل 7: علاقة الايصالية الحرارية لـ ACI بنسبة استبدال الرمل الكلسي الموجود في الخلطة بالبرلايت.



الشكل 8: تأثير نسبة البرلايت المستبدل على كل من الايصالية الحرارية والكثافة الجافة.



الشكل 9: تأثير نسبة البرلايت المستبدل على الايصالية الحرارية المقاسة والمحسوبة من علاقة ACI .



الشكل 10: تأثير نسبة البرلايت المستبدل على كل من الايصالية الحرارية والمقاومة على الضغط.