تصنيع ركام خفيف الوزن لإنتاج خرسانة خفيفة عازلة *

* البحث حائز على براءة اختراع بتأريخ 14 / 8 / 2001 .

د. نادية سالم اسماعيل** دعد محمد داؤد**

استاذ مساعد/ قسم هندسة تقنيات البناء والإنشاءات / الكلية التقنية الموصل

الخلاصة

أدى التطور الحديث للتقانات المستخدمة في إنتاج الخرسانة إلى ظهور أنواع من الخرسانة ذات كثافات مختلفة مقارنة بالخرسانة الاعتيادية . وهذه الكثافة يمكن الحصول عليها بعدة طرق ، إحدى هذه الطرق استعمال الركام الخفيف الوزن Lightweight aggregates. يهدف البحث الحالي إلى تصنيع أنواع من الركام الخفيف (الخشن والناعم) ومن ثم إنتاج كتل خرسانية خفيفة ذات عزل حراري جيد من مواد متوفرة محليا وبكلفة اقتصادية مناسبة . وقد تم الحصول على نوعين من الركام الخفيف باستخدام طريقتين من التصنيع، أطلق على النوع الأول ركام الحدباء تم تصنيعه من طين طفل موجود على حافات دجلة في منطقة الموصل بنسبة 50% وغرين Silt بنسبة 50% وتم الحصول على ركام بكثافة 860 كغم/م^3. وأطلق على الثاني ركام الربيعين، وتم اعتماد الطين الطبيعي الصفائحي الموجود في محافظة نينوى بكميات كبيرة جداً والذي معدنه هو المونتمورلونايت والكاؤلين وتم الحصول على ركام بكثافة 750 كغم/م^3 ولم يصنع هذا النوع سابقاً في العراق وطريقة تصنيعه بسيطة واقتصادية. لقد أجريت الفحوصات القياسية لهما وتم اعتمادهما في إنتاج الكتل الخرسانية فقد حصلنا على كتل خرسانية خفيفة تستعمل في الجدران الحاملة من ركام الحدباء وكانت قوة تحملها للضغط بعمر 28 يوم 15.33 نيوتن/ملم^2 وكثافتها 1770 كغم/م^3 أما ركام الربيعين فقد استخدم في إنتاج كتل خرسانية لأغراض العزل الحراري وقد كان معامل التوصيل الحراري K له 0.55 واط/م.كليو سعرة وبكثافة 1640 كغم/م^3 .

الكلمات الدالة : الطين ، الركام الخفيف الوزن ، الكتل الخرسانية .

Processing Lightweight Aggregate to produce Lightweight Concrete

Daad Mohamed Daood Ass. Prof. /Civil Department

Dr.Nadia Salim Esmaeil Ass. Prof. /Civil Department

Abstract

The modern techniques development used in the production of concrete led to the emergence of types of concrete with different densities compared to normal concrete . This research aimed manufacturing types of lightweight aggregate (coarse and fine) and then the production of lightweight concrete blocks with a good thermal insulation , by using available locally materials . Two types of lightweight aggregate , have been produced by using two methods of manufacturing , first type , where AL-Hadbaa aggregate , produced from Clay , which is on the edge of the Tigris river in Mosul , using 50% Clay and 50% silt , the density obtained about 860 Kg/m^3 . The second AL-Rabean aggregate , was the adoption of natural laminated Clay which is located in Nineveh province , in very large quantities , it's mineralization is Montmurlite and kaolinite , density obtained was 750 Kg/m^3 , this type did not produce in Iraq and which it's manufactured method simple and economic . The standard tests have been made and were adopted in the production of concrete blocks , lightweight concrete block produced from AL-Hadbaa aggregate , used in bearing walls , have 28 – day compressive strength 15.33 N/mm^2 and density about 1770 Kg/m^3 .

The AL-Rabeaan aggregate used to product concrete block for the purposes of thermal insulation , it's thermal conductivity coefficient was 0.55 W/m.kcal and have a density 1640 Kg/m^3 .

Keywords : Clay , lightweight aggregate , concrete block .

أستلم 18-5-2009 قبل 28-1-2010

1. المقدمة

إن الخرسانة خفيفة الوزن Lightweight concrete لها أهمية كبيرة في المنشآت العصرية في الوقت الحاضر، وهي تستعمل في إنشاء الأبنية السكنية والجدران القاطعة والسقوف القشرية والألواح العائمة وحتى الجسور، وكذلك تستخدم في إنتاج كتل بنائية خفيفة لها أهميتها في أنها ذات عزل حراري جيد مقارنة بالكتل الخرسانية الإعتيادية وبالإضافة إلى خفة وزنها بحيث لا تضيف أحمال كثيرة إلى المنشأ، مما يجعلها أكثر اقتصادية في الاستعمال لما توفره من استهلاك في الطاقة اللازمة للتبريد والتدفئة وهذا مما حدا الكثير من الباحثين والمهندسين الإنشائيين إلى دراستها والبحث عن أساليب جديدة في إنتاجها ومحاولة إيجاد المواد الأولية اللازمة لصنعها سواءً كانت مواد خام أولية أو مصنعة [1,2,3] .

ويمكن تعريف الخرسانة الخفيفة الوزن بأنها تلك الخرسانة التي لا تتجاوز كثافتها الجافة (Dry unit weight) عن 1800 كغم/م^3 والتي يمكن الحصول عليها بعدة طرق هي :

أ. باستخدام ركام خفيف الوزن . **ب.** إدخال فقاعات هوائية داخل كتلة الخرسانة . **ج.** حذف الركام الناعم من الخلطة. [4]

والنوع الأول (الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزنLightweight aggregate concrete) تصنع من خلط السمنت والماء مع ركام خفيف الوزن، والركام الخفيف الوزن على أنواع منها الطبيعي وتشمل (diatomite ، Pumice ، Scoria و المتحجرات البركانية ، وغيرها) ومعظمها ذات أصل بركاني ويقل تواجدها في العراق. أما النوع الثاني من الركام الخفيف الوزن فهو المصنع ويشمل أنواع متعددة منها (أنواع الطين المنفوخ حراريا Expanded clay ، Perlite ، Vermiculite ، خبث الأفران Expanded blast furnace slag ، والرماد المتطاير Purlrerized fuel ash) [5] . أظهرت نتائج البحوث نجاح هذا الركام في إنتاج خرسانة خفيفة ذات مقاومة جيدة فاقت في بعض الأحيان مقاومة الخرسانة العادية بالإضافة إلى صفة العزل الحراري الجيد [6,7,8] .

الخرسانة ذات الركام الخفيف Lightweight aggregate concrete

تتميز الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن والتي استعملت منذ عقود في بعض المناطق في العالم بخفة الوزن الذي بدوره يقلل من الحمل الميت dead load (وزن الخرسانة نفسها) والذي يوفر في كلفة إنشاء الأسس وكذلك تصغير الأعضاء الإنشائية الذي سيقلل من الكلفة ويزيد من الفضاءات الممكن استعمالها هذا بالإضافة إلى مقاومتها الجيدة للحريق وقابليتها في العزل الحراري والصوتي العالي مقارنة بالخرسانة العادية . ويمكن تصنيف الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن إلى ثلاثة أنواع رئيسية :-

أ.الخرسانة الخفيفة الوزن العازلة Insulation Lightweight agg. Concrete :-

هي خرسانة خفيفة الوزن خاصة تستعمل لأغراض العزل الحراري بالدرجة الأساس وبكثافة قليلة لا تتعدى 800 كغم /م^3 ذات عزل حراري عالي غير أن تحملها الضغط قليلة تتراوح بين 0.69 – 6.89 نيوتن/ملم^2 .

ب.الخرسانة الخفيفة الوزن الإنشائية Structural lightweight agg. Concrete :-

وهي خرسانة ذات كفاءة من الناحية الإنشائية منتجة باستخدام ركام مصنوع من الطين العادي أو الصفحي المنفوخ حراريا أو خبث الأفران، وأدنى تحمل للضغط Compressive Strength لها هو 17.24 نيوتن/ملم2 ومعظمها تصل تحملها للضغط إلى مقدار 34.47 نيوتن/ملم2 ومن الممكن إنتاج أنواع خاصة منها تزيد تحملها للضغط عن 41.36 نيوتن/ملم^2، وبما أن كثافة الخرسانة الإنشائية ذات الركام الخفيف الوزن هذه تكون عادة اكبر من كثافة الخرسانة الخفيفة العازلة (نوع أ) فان عزلها الحراري اقل منها ولكنها تبقى ذات عزل حراري أفضل من الخرسانة الإنشائية العادية وتتراوح كثافة هذا النوع بين 1760-1600 كغم/م^3 .

ج.خرسانة الركام الخفيف متوسط المقاومة Moderate lightweight agg. concrete :-

وهذه تكون ذات تحمل ضغط بين الخرسانة الخفيفة العازلة (أ) والخرسانة الخفيفة الإنشائية (ب) حيث يكون تحملها للضغط بحدود 6.89 – 17.24 نيوتن/ملم2 ويكون عزلها الحراري اقل من صنف (أ) وأفضل من صنف (ب).

وبما إن صفات الخرسانة ذات الركام الخفيف الوزن من حيث تحملها للضغط وكثافتها وعزلها الحراري تعتمد على المواد الأولية المستخدمة في صنع الركام الخفيف والتي تختلف من منطقة إلى أخرى في العالم وحسب المواد الخام الأولية التي صنع منها من الناحية الجيوتكنكية، توجب دراسة خواص كل نوع من الركام المصنع من الناحية الهندسية ومن ثم دراسة الخواص الهندسية للخرسانة التي استخدم في إنتاجها ، خاصة تحمل الضغط والكثافة والعزل الحراري والصوتي [1,5,9]. فقد تم إنتاج أنواع من الخرسانة العازلة ذات الركام الخفيف كثافتها اقل من 800 كغم / م^3 وذات عزل حراري جيد (تراوح معامل التوصيل الحراري "k" لها بحدود 0.13 – 0.24 واط /متر. كليوسعرة) وبتحمل ضغط (0.48 – 5.17) نيوتن/ملم^2 [10].

في مناطق أخرى من العالم تم إنتاج خرسانة ذات تحمل ضغط عالية تنتج باستخدام ركام خفيف الوزن مصنوع من الطين الصفحي المنفوخ حراريا وصل تحملها للضغط أكثر من 59 نيوتن/ملم^2 وأكثر، وتراوحت كثافتها بين (1650 – 1440) كغم/ م^3 [11] . وقام باحثين آخرين بإنتاج قطع خرسانية من الركام الخفيف الوزن المصنوع من الطين الصفحي المنفوخ حراريا، وزنها اقل بمقدار 40% من تلك المصنوعة من الركام الاعتيادية [12] .

إن الغاية من هذا البحث هو تصنيع ركام محلي خفيف الوزن وذلك لقلة توفر الركام الطبيعي الخفيف في العراق وذلك لغرض إنتاج كتل خرسانية خفيفة الوزن ذات صفات أفضل من الخرسانة العادية من حيث الوزن والعزل الحراري وتم اعتماد تصنيع الركام الخفيف من الطين الطبيعي الصفائحي والطفل الموجود في محافظة نينوى والمتكون من معدني المونتمورلونايت والكاؤلين [13,14] . ونظرا لكون هذا النوع من الركام لم يصنع سابقا في العراق وخاصة باستخدام الأطيان الموجودة في منطقة الموصل Fuller earth والتي استخدمت في هذا البحث لأول مرة لإنتاج خرسانة خفيفة لها صفات العزل الحراري ، فقد تم اعتماد المواصفات ASTM [15] وذلك لعدم توفر المواصفات الفنية العراقية الكاملة لهذا النوع من الركام والخرسانة.

هناك عوامل عديدة بالإضافة إلى الأغراض البحثية والحاجة العملية أدت إلى التقبل التدريجي للخرسانة الخفيفة كمادة بنائية، فمثلاً تزايد الحاجة إلى إنشاء أبنية متعددة الطوابق ذات أثقال ميتة (dead load) قليلة، وإنشاء الحواجز الخرسانية ذات الفضاء الواسع، إنشاء الأسقف الصفيحية والمنشات الأخرى عموماً. فعلى سبيل المثال إن التقليل من وزن الأثقال الميتة مع البقاء على سعة معينة من الأثقال الحية (live load) ضرورية جداً في الأجزاء الخرسانية المسبقة الصب Precast concrete وذلك لأنها تنقل مسافة معينة قبل استعمالها. وفي بعض الحالات يكون من المفيد

جداً استخدام المخلفات الصناعية لتصنيع ركام خفيف الوزن light weight aggregate عند عدم توفر الركام الخفيف الطبيعي وبنوعية جيدة .

عدا بعض الحالات تكون الخرسانة الخفيفة عموماً أعلى كلفة بقليل من الخرسانة الاعتيادية لنفس الحجم. غير إن هذه الزيادة تكون قليلة جداً نسبة للفوائد الكبيرة الناجمة عن استعمال الخرسانة الخفيفة والتي تكون في :

- تقليل من وزن الخرسانة اللازم لإعطاء المقاومة المطلوبة Strength والديمومة Durability المطلوبة .
- تحسين العزل الحراري .
- زيادة مقاومة الحريق .
- التوفير الناتج من سهولة المناولة والعمل وتقليل كلفة القوالب – والتقليل من كلفة النقل والتركيب .
- الاقتصاد الكبير في الطاقة اللازمة للتبريد والتدفئة للأبنية المعمولة من الخرسانة الخفيفة .

يمكن أن تكون الخرسانة الخفيفة الوزن بأنماط عديدة تبعاً لتنوع الصفات الفيزياوية لها في هذا الجانب، مثلاً الكثافة الإجمالية bulk density تبعاً للمواصفات (AS 1480 and ASTM C567) تقع ضمن الحدود 160-2000 kg/m^3 . أما انكماش الجفاف drying shrinkage يتباين من كونه أقل في الخرسانة العادية إلى أضعاف ما موجود فيها . أما العزل الحراري فيتراوح من ثلاثة أضعاف إلى اثني عشر ضعفاً عما موجود في الخرسانة العادية وهذا مهم جداً في بلدنا الذي يتصف مناخه بالتباين الشديد في درجة الحرارة ما بين الفصول وحتى ما بين الليل والنهار في اليوم الواحد . أما نسبة مقاومة الضغط إلى الكثافة فلها قيم متعددة تصل أقصاها في حالات معينة إلى 200 % .

أما بالنسبة لطريقة تكوين الركام الخفيف من الأطيان فيكمن جوهر العملية في التحولات التي تحدث نتيجة الحرق بدرجات حرارة عالية تصل إلى 1000 درجة مئوية وأكثر، وهذه التحولات في المركبات الأساسية للطين تعتمد على درجة حرارة الحرق فمثلاً عملية الفقدان في جزيئات الماء الكيمياوي Dehydration للمركبات تحدث عند درجات حرارة ما بين 150 – 600 درجة مئوية أما تصلب كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$ فيحدث مابين 600 – 900 ْم [9].

ومن الناحية الأخرى فإن المركبات الأساسية للطين تختلف حسب نوعه ومناطق تكوينه فهناك أطيان لها نسبة عالية من السليكا كالطين المأخوذ في تصنيع ركام الحدباء ولهذا تم اعتماد درجات الحرارة العالية 900 – 1000 ْم للحرق لغرض تحويله إلى ركام .

أما بالنسبة للطين المستخدم في إنتاج ركام الربيعين فكان يتميز باحتوائه على نسبة عالية من اكاسيد الحديد Fe_2O_3 وبما أن هذا الأوكسيد يتحول في درجات حرارة قليلة نوعاً ما كما ذكرت أعلاه 350 – 900 ْم، ولهذا لم يحتاج هذا الطين درجات حرارة عالية جداً لتحوله إلى ركام حيث كانت درجة حرارة 600 ْم كافية لتحرر الحديد الذي فيه والذي أعطاه الصلابة اللازمة واكسبه اللون الأحمر والملمس الناعم وقلة المسامات .

2. الجزء العملي

2.1 البحث عن الخامات

تم إجراء دراسة لأنواع الأطيان المتوفرة ، ومن خلال مسح ميداني للأطيان الموجودة في محافظة نينوى ، والقيام بزيارات ميدانية لمواقع متعددة ، حيث تم اخذ نماذج من الأطيان من عدة مواقع مثل (منطقة بعويزة ، حي العربي ، الجيلة ، عين زالة ، وادي قوجه عنبر ، الرشيدية ، المنطقة الممتدة من مدينة الموصل إلى منطقة ربيعة وغيرها) بالإضافة إلى استخدام الغرين Silt المتوفر محليا للإضافة مع الطين ، أجريت الفحوصات والتجارب على

أنواع الأطيان المأخوذة واستبعدت قسم من هذه الأطيان لاحتواءها على نسبة عالية من الجبس مثل منطقة بعـــويزة أو احتواءها على شوائب كثيرة وعليه تم اعتماد :-

أ. مقالع (وادي قوجه عنبر والرشيدية) لإنتاج النوع الأول من الركام والذي تم إعطاءه اسم (ركام الحدباء) وهو عبارة عن طين طفل رخو موجود بكميات كبيرة على حافات نهر دجلة .

ب. مقالع (الجيلة ، حي العربي ، المنطقة الممتدة إلى منطقة ربيعة وعين زالة متكون من طين صفحي في هذا البحث تم اعتماد مقالع الجيلة) والذي تم اعطاءه اسم (ركام الربيعين) وهو عبارة عن طين صفحي يعرف محليا باســم (الكيل) متوفر بكميات كبيرة في منطقة الموصل وضواحيها والتحليل الكيمياوي لهذا الطين موضح فـــي الجـــدول رقم (1) .

2.2 طرق التصنيع

أ. لانتاج ركام الحدباء تم اخذ الطين الطفل المأخوذ من المقالع بنسبة 50% و 50% من الغرين Silt ونقعهما لمـــدة يومين في الماء وتصبح التربة ناعمة ويتم غسلها جيدا للتخلص من الاملاح ان وجدت ، ثم تم تكتيلها على شـــكل كتل وتركها لتجف في الهواء لمدة يومين او ثلاثة ثم بعد ذلك تنقل لافران الحرق .

ب. تم انتاج ركام الربيعين باستخدام الاطيان المشهورة بها منطقة الموصـــل (الكيـــل (Fuller clay ولاول مـــرة وبطريقة اقتصادية حيث تم جلبها من المقلع وادخالها الى الافران الكهربائية بعد تكسيرها ودون اية معالجة مسبقة لها او اضافة أي مواد اخرى .

2.3 برنامج الحرق

أ. تم اعتماد برنامج حرق اعتيادي بالنسبة لركام الحدباء حيث تم استعمال كور خاصـــة لهـــذا الغـــرض والوقـــود المستعمل هو النفط الابيض ، حيث تم رفع درجة الحرارة تدريجيا الى حدود 1000 °م ، واستغرقت النماذج منـــذ دخولها الفرن لحين انتهاء الحرق مدة 8 ساعات ثم تركت لتبرد تدريجيا .

ب. اما بالنسبة لركام الربيعين ، تم استخدام افران كهربائية تصل درجة حرارتها الى 700 °م ، حيث تم ادخال قطع الطين بعد جلبها من المقلع وتكسيرها الى الفرن ورفع درجة الحرارة ، وتبقى في درجة حـــرارة 600 – 700 °م لمدة 3-4 ساعات ثم تترك لتبرد تدريجيا.

2.4 تدرج الركام

أ. تم إتباع المواصفات القياسية (ASTM / C-330) في تدرج ركام الحدباء وحسب ما موضح في الجدول رقم (2).

ب. تم تدرج ركام الربيعين حسب المواصفات القياسية (ASTM / C-332) وكما موضح في الجدول رقم (3).

2.5 تحضير نماذج الصب :

تم استخدام مكعبات حديدية بأبعاد 100×100×100 ملم لفحص مقاومة الانضغاط والعزل الحراري وقوالـــب بأبعاد (150×150×300) ملم لفحص الكثافة والامتصاص وهو الحجم المقترح لصناعة الكتل الخرسانية المطلوبة .

تم اعتماد نسبة مزج 3 : 1.5 : 1 عن طريق الحجم بالنسبة لركام الحدباء مع نسبة ماء w/c = 0.5 (نســـبة وزنية) وكان الخلط يدوياً .

أما بالنسبة لركام الربيعين تم استعمال الركام الناعم والركام الخشن من نفس المادة المصنعة بعد أن تم تدريجها وبنسبة خلط 3 : 3 : 1 عن طريق الحجم أي حجم واحد سمنت إلى ستة أحجام من الركام الناعم والخشن معاً وكانت w/c = 0.5 (نسبة وزنية) .

2.6 عملية المعالجة Curing

تم معالجة المكعبات والكتل المصبوبة من نوعي الركام (الحدباء والربيعين) وذلك بفتح القوالب بعد يوم واحد ثم انضاجها بغمرها بالماء . ولم تستخدم درجة الحرارة الخاصة بالانضاج المختبري (22 ±2 c°) بل تم تعريض المكعبات والكتل الى ظروف اقرب للواقع العملي من حيث درجات الحرارة المنخفضة والأملاح، حيث كانت درجة الحرارة تتراوح بين (12 – 15 ْم) .

3. النتائج والمناقشة

3.1 الركام

بعد الدراسة الميدانية لأنواع الأطيان الموجودة في منطقة الموصل واختبار صلاحيتها للاستعمال كمادة أولية لإنتاج الركام الخفيف المصنع تم الحصول على نوعين من الركام هو 1. ركام الحدباء 2. ركام الربيعين. وتم إنتاج 1 م^3 من كل نوع لإكمال متطلبات البحث ، ولغرض التأكد من مطابقة هذا الركام للمواصفات القياسية العالمية تم فحص الركام من ناحية :

أ. التدرج Grading

اعتمدت المواصفات ASTM لحدود التدرج (C330 – 77a) لإحجام الحبيبات لركام الحدباء وكما موضح في الجدول رقم (2) حيث استعمل الركام المصنع الخشن فقط وتم استعمال الرمل العادي كركام ناعم . أما بالنسبة لركام الربيعين فقد اعتمدنا التدرج الشامل (للحبيبات الخشنة والناعمة) حيث لم يتم استخدام الرمل النهري العادي بل كانت جميع مقاسات الحبيبات المستعملة هي من النوع المصنع حيث ان الغاية هو إنتاج خرسانة خفيفة عازلة من هذا الركام وكان التدرج المعتمد حسب المواصفات القياسية العالمية (C332-77a) وكما موضح في الجدول رقم (3) .

ب.الوزن النوعي Specific gravity

إن للوزن النوعي أهمية كبيرة كصفة من صفات الركام حيث يعطيه الهوية لاعتباره من النوع الخفيف أو العادي وهو يدخل في كثير من الحسابات وخاصة عند تصميم الخلطة الخرسانية لإنتاج الكتل قيد البحث وحسب المواصفات القياسية ASTM .

وقد كان الوزن النوعي لركام الحدباء 1.91 في حين ان الوزن النوعي لركام الربيعين 2.0 وهما اقل من الوزن النوعي للركام الاعتيادي والذي يتراوح بين (2.8 – 2.6) لاحظ الجدول رقم (4) .

ج. الكثافة Unit weight

من المعلوم ان كثافة الركام الخفيف تكون اقل من كثافة الركام الاعتيادي وذلك لطبيعة الركام الخلوية ، كذلك ان الركام الذي له نفس الوزن النوعي يمكن ان يختلف في الكثافة وذلك اعتمادا على نسبة الفراغات الموجودة عند ايجاد الكثافة الجافة وكذلك على شكل الركام وحافاته .

حددت المواصفات [1] الحد الاعلى لكثافة الركام الخفيف الخشن 880 كغم / م^3 وللركام الشامل (خشن مع ناعم) 1040 كغم / م^3 [4] وقد كانت كثافة ركام الحدباء الخشن 860 كغم /م^3 وكثافة ركام الربيعين الخشن 750

كغم/م^3 اما الشامل (الخشن مع الناعم) فقد كانت 1010 كغم/م^3 وهذه النتائج مطابقة للمواصفات وبهذا يمكن اعتبارها من الركام الخفيف المصنع .

د. الامتصاص Absorption

كانت نسبة الامتصاص لركام الحدباء 29% اما بالنسبة لركام الربيعين فقد كان الامتصاص الكلي 22% وذلك لكثرة وجود المسامات وهذه صفة عامة في الركام الخفيف عموما .

3.2 فحوصات الخرسانة ونتائجها

3.2.1 مقاومة الانضغاط Compressive Strength

لقد اجري فحص مقاومة الانضغاط بالأعمار 7 ، 14 ، 21 ، 28 يوم للقطع الخرسانية المصبوبة لكلا النوعين من الركام . والنتائج موضحة في جدول (6) والشكل رقم (1) . من الشكل نلاحظ إن مقاومة الانضغاط للكتل المصنعة من ركام الحدباء في عمر 28 يوم هو 15.33 نيوتن/ملم^2 وعليه يمكن اعتبار هذا النوع من الكتل المحملة من النوع المتوسط القوة Moderate Strength [1].

رجوعاً إلى الجدول (6) نلاحظ ان الكتل المصنعة من ركام الربيعين كانت لها مقاومة انضغاط في عمر 28 يوم 5.5 نيوتن/ملم^2 وعليه يمكن اعتبار هذه الكتل من النوع الخفيف العازل Isolated Concrete [1] .

3.2.2 الكثافة Unit Weight

تحدد المواصفات القياسية العالمية عمر 28 يوم لإيجاد الكثافة الجافة للكتل الخرسانية . تم فحص الكثافة للنوعين والنتائج موضحة في جدول رقم (7) . من الجدول نلاحظ ان كثافة الكتل الخرسانية المصنعة من ركام الحدباء 1770 كغم / م^3. في حين ان كثافة الكتل الخرسانية المصنعة من ركام الربيعين 1640 كغم/م^3 ورجوعا للمصادر فالخرسانة التي تمتلك كثافة اقل من 1800 كغم / م^3 تعتبر خرسانة خفيفة لهذا يمكن اعتبار الكتل المصنعة انفة الذكر خرسانة خفيفة . جدول (9) يبين كثافة بعض أنواع الركام الخفيف الطبيعي والمصنع عالمياً ، من الجدول نلاحظ أن كثافة ركام الحدباء وركام الربيعين متوافقة مع الكثافات الموجودة في الجدول ,

3.2.3 الامتصاص Absorption

نسبة الامتصاص للخرسانة الاعتيادية على الغالب تكون اقل من نسبة الامتصاص للخرسانة المصنعة من الركام الخفيف الوزن وذلك لطبيعة الركام المحتوية على فجوات هوائية في بعض الاحيان مما يساعدها على امتصاص الماء بكميات كبيرة . أجريت فحوصات الامتصاص على الكتل الخرسانية المصنعة من النوعين . من الجدول رقم (7) نلاحظ إن نسبة الامتصاص للكتل المصنعة من ركام الحدباء عالية نسبيا حيث كانت 16.2% ولكنها مقبولة ولا تؤثر بشكل سلبي على قوة الكتل . اما الكتل المصنعة من ركام الربيعين كانت نسبة الامتصاص جيدة 8.5% بالرغم من خفة وزنه وقوة تحمله اقل من النوع الاول .

3.2.4 العزل الحراري (معامل التوصيل الحراري K)

العزل الحراري غاية اساسية ومتطلب مهم في منشاتنا ، وهو الاساس في انتاج كتل خرسانية خفيفة عازلة . في هذا البحث تم إيجاد معامل التوصيل الحراري K ، حيث يمثل التوصيل الحراري المقياس للتوصيلية الحرارية ، وهو عدد الوحدات الحرارية التي تمر خلال وحدة المساحة من المادة وبسمك يساوي وحدة واحدة وخلال وحدة زمنية

واحدة عندما يكون الفرق بين درجات الحرارة لوجهي الجسم درجة واحدة وفي النظام المتري تكون الوحدة المستعملة واط / م كيلو سعرة . لقد ورد عن ACI [1] المعادلة التالية التي تربط الكثافة الجافة بمعامل التوصيل الحراري لنماذج مجففة في الفرن

$$K = 0.072 \times e^{0.00125\rho}$$

حيث أن :

K : معامل التوصيل الحراري

ρ : الكثافة الجافة للنموذج كغم / م^3 .

e : الدالة الأسية .

وكان معامل التوصيل الحراري k لركام الحدباء 0.658 واط /م كليوسعرة و k لركام الربيعين 0.55 واط /م كليوسعرة ، وهذه النتائج جيدة جدا مقارنة بالخرسانة الاعتيادية التي يبلغ معامل التوصيل الحراري لها k ≈ 1.5 واط/م.كليو سعرة .

3.3 مقارنة بين الكتل المصنعة في البحث والكتل الخرسانية الاعتيادية

اجريت مقارنة بين ما تم تصنيعه من الكتل الخرسانية ضمن هذا البحث وبنوعي الركام المنتج، والكتل الخرسانية الاعتيادية بصنفيها أ و ب وحسب ما جاء في المواصفات القياسية العراقية [17] والبيانات موضحة في جدول رقم (8) من الجدول نلاحظ ما يلي :

أ. ان كثافة الكتل الخرسانية الاعتيادية تتراوح بين 2300 – 2400 كغم/م^3 في حين نجد ان كثافة الكتل الخرسانية المصنعة من ركام الحدباء 1770 كغم / م^3 وكثافة الكتل المصنعة من ركام الربيعين 1640 كغم / م^3 . الفرق بين الكثافة واضح وعالي وعليه فان تصنيع كتل خرسانية خفيفة الوزن باستعمال ركام تم تصنيعه محليا وبمواد اولية متوفرة بكميات كبيرة محليا مطلوب حيث ان قلة الوزن تقلل من ثقل البناية وبالتالي تقلل من كلفة الاسس بالاضافة الى زيادة انتاجية العمل من حيث سهولة حمل ونقل الكتل بالاضافة الى العزل الحراري والصوتي.

ب. من البيانات الموضحة في الجدول نلاحظ ان مقاومة الانضغاط لركام الحدباء هو 15.33 نيوتن/ملم2 وهي اعلى من مقاومة الانضغاط للكتل الخرسانية الاعتيادية بصنفيها ولهذا يمكن استعمال هذه الكتل في الجدران الحاملة للاثقال . اما بالنسبة لركام الربيعين نلاحظ ان مقاومة الانضغاط 5.5 نيوتن/ملم2 ولهذا نوصي باستخدام هذا النوع للقواطع ولاغراض العزل .

ج. رجوعا الى جدول رقم (8) ومقارنة نسب الامتصاص للكتل المذكورة نلاحظ ان نسبة الامتصاص للكتل الخرسانية المصنعة من ركام الحدباء مقاربة من نسبة الامتصاص للكتل الخرسانية صنف (ب) حسب ما جاء في المواصفات القياسية العراقية وهي 15% في حين ان نسبة الامتصاص لركام الربيعين 8.5% هي اقل الانواع بالرغم من خفة وزنه وعزله للحرارة.

د. العزل الحراري

ان العزل الحراري وكما ذكرنا سابقا متطلب مهم ، من الجدول رقم (8) نلاحظ ان العزل الحراري (معامل التوصيل الحراري K) لركام الحدباء 0.658 واط /م. كليو سعرة وركام الربيعين 0.55 واط/م. كليو سعرة هي اقل بكثير من الكتل الخرسانية الاعتيادية والتي لها عزل حراري k=1.5 واط/م. كليو سعرة .

4. الاستنتاجات Conclusion

1. تم تصنيع ركام خفيف الوزن ولاول مرة وبنجاح من الاطيان الموجودة في محافظة نينوى يصلح لانتاج خرسانة خفيفة عازلة .
2. ان الكتل الخرسانية باستعمال هذا الركام لها صفات جيدة تتفوق على الكتل الخرسانية الاعتيادية في كثير من الصفات فقد تم الحصول على كتل خرسانية بكثافة اقل ذات عزل حراري اكبر من الكتل الاعتيادية وبنفس مقاومة الانضغاط ، وكانت كالتالي :

أ. بالنسبة للكثافة المحصلة من الركام المنتج بنوعيه تتراوح بين (1640 - 1770) كغم/م^3 مقارنة بكثافة الخرسانة الاعتيادية 2400 كغم/م^3 .

ب. مقاومة الانضغاط للكتل الخرسانية المنتجة تتراوح بين 5.5 – 15.33 نيوتن/ملم^2 وهي ضمن المواصفات القياسية العراقية .

ج. الامتصاص يتراوح (8.5 – 16.2)% في حين العزل الحراري كان بين (0.55 – 0.658) واط/م.كيلو سعره وهو أقل بحدود الثلث من الخرسانة الاعتيادية (1.5) واط/م.كيلو سعره .

د.

جدول رقم (1) التركيب الكيمياوي للطين المستخدم في صناعة ركام الربيعين

الاوكسيد	% النسبة المئوية
SiO_2	60.15
Al_2O_3	16.45
Fe_2O_3	4.04
FeO	2.90
MgO	2.32
CaO	1.41
Na_2O	1.01
K_2O	3.60
H_2O	3.82
CO_2	1.46

جدول رقم (2) التدرج المعتمد لركام الحدباء حسب المواصفات القياسية (C330-77a) ASTM

مقاس المنخل / ملم	النسبة المئوية المارة %	حدود المواصفة (330 – 77a) ASTM
25 ملم	97	100 - 95
12.5 ملم	50	60 – 25
منخل رقم (4) 4.75 ملم	5	0 - 10

جدول رقم (3) التدرج المعتمد لركام الربيعين حسب المواصفات القياسية (C330-77a)

مقاس المنخل / ملم	النسبة المئوية العابرة %	حدود المواصفة (330 – 77a) ASTM
25 ملم	100	100
12.5 ملم	97	100 – 95
منخل رقم (4) 4.75 ملم	65	50 – 80
منخل رقم (50) 300 مايكرون	14	5 – 20
منخل رقم (100) 150 مايكرون	10	2 - 15

جدول رقم (4) خواص ركام الحدباء والربيعين من ناحية الكثافة والوزن النوعي والامتصاص

ت	نوع الركام	الكثافة Unit weight كغم /م^3	الوزن النوعي Specific gravity	الامتصاص Ahsorpition %
1	ركام الحدباء خشن	860	1.91	%29
2	ركام الربيعين خشن	750	2.0	%22
3	ركام الربيعين شامل (خشن + ناعم)	1010	- - -	%19

جدول رقم (5) نسب المزج ومقدار الهطول لأنواع المزجات الخرسانية المستعملة

ت	الخرسانة حسب نوع الركام	نسب المزج	نسبة ماء السمنت W/c	مقدار الهطول cm
1	خرسانة الحدباء	1:1.5:3	0.5	5 – 7
2	خرسانة الربيعين	3:3:1	0.5	5 - 7

جدول رقم (6) مقاومة الانضغاط لمختلف الأعمار

ت	الكتل الخرسانية حسب نوع الركام	مقاومة الانضغاط نيوتن/ملم2			
		7 أيام	14 يوم	21 يوم	28 يوم
1	كتل الحدباء	6.6	13.175	14.453	15.33
2	كتل الربيعين	2.121	3.62	4.8	5.5

جدول رقم (7) يبين نتائج فحوصات الكتل الخرسانية

150 × 150 × 300 ملم

ت	الكتل الخرسانية حسب نوع الركام	الكثافة الجافة كغم/م^3	الامتصاص %	العزل الحراري (معامل التوصيل k) واط/م. كيلو سعرة
1	كتل الحدباء	1770	16.2	0.658
2	كتل الربيعين	1640	8.50	0.55

جدول رقم (8) يوضح مقارنة بين الكتل الخرسانية الاعتيادية والكتل الخرسانية من الركام المصنع

ت	نوع الكتل	الكثافة كغم /م^3	مقاومة الانضغاط نيوتن/ملم2	الامتصاص %	العزل الحراري (معامل التوصيل k) واط/م. كيلو سعرة
1	كتل خرسانية مصنعة من ركام الحدباء	1770	15.33	16.2	0.658
2	كتل خرسانية مصنعة من ركام الربيعين	1640	5.5	8.5	0.55
3	كتل خرسانية من الركام الاعتيادي نوع أ [16]	2400	13.0	10	1.5
4	كتل خرسانية مصنعة الركام الاعتيادي نوع ب [16]	2400	9.0	15	1.5

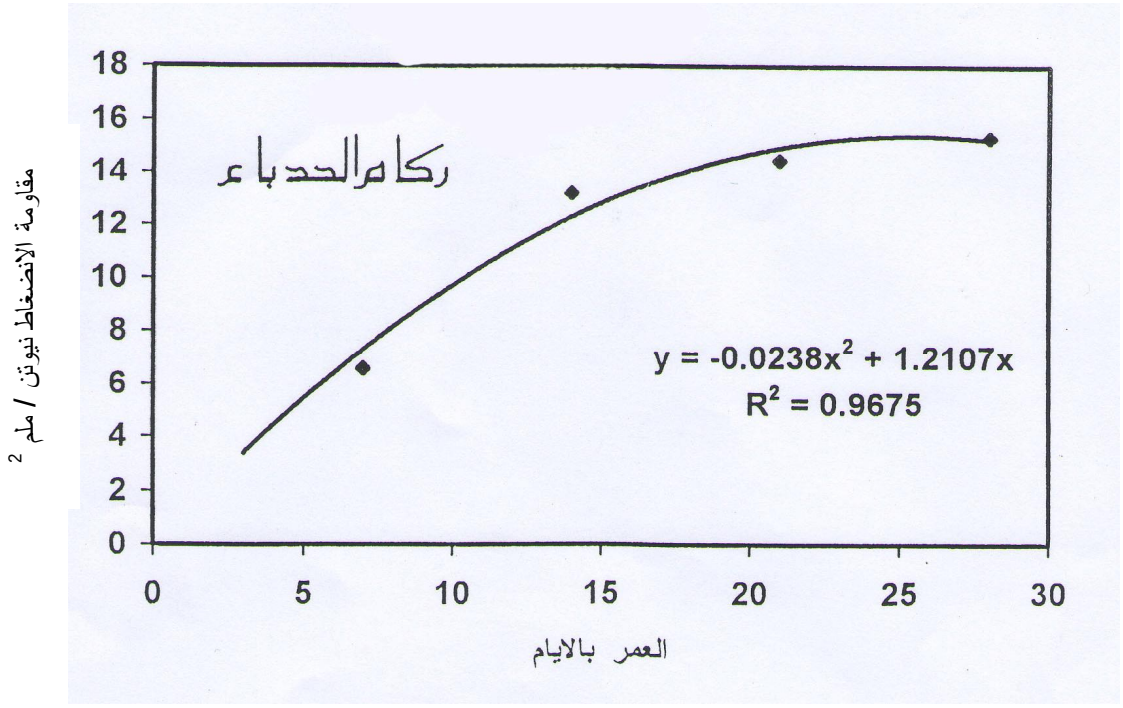
جدول رقم (٩)
مقارنة بين الركام الخفيف المنتج والمواد الخفيفة تقليدية الغرض

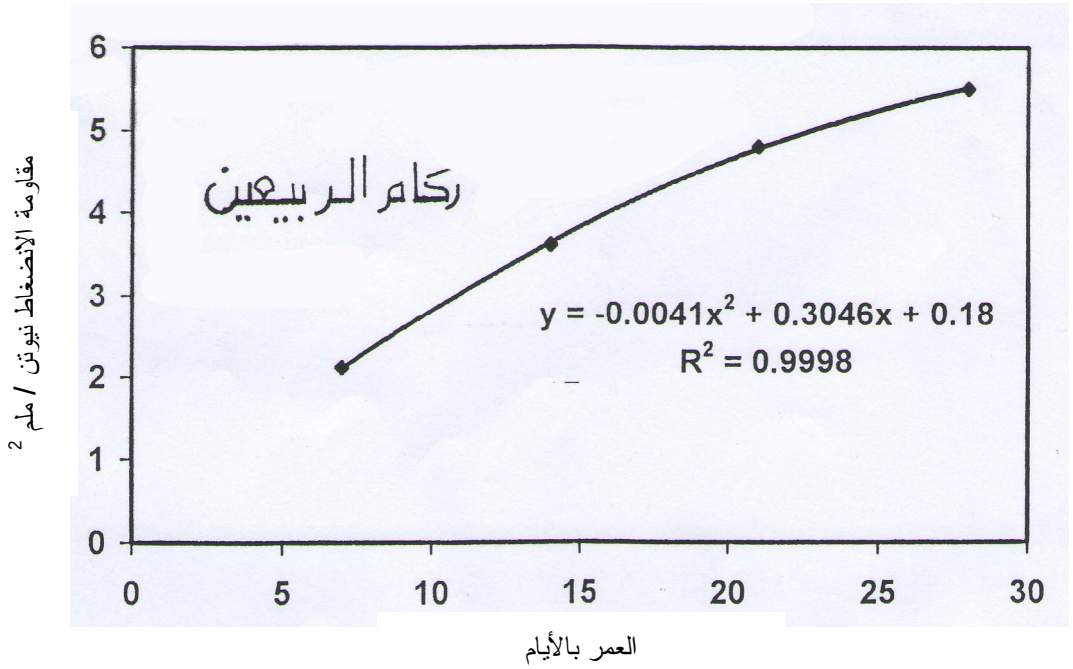
١. أنواع وصفات الركام الخفيف المنتج عالمياً

النوع	المادة	التكوين	النسيج عند حالتها الطبيعية	النسيج عند استعمالها	الكثافة الكلية Bulk Density Kg/m³
البركانية	Pumice	صخري، حفضي	هزيلة، ذات فجوات ثلجية واضحة	هزيلة، ذات فجوات ثلجية واضحة	480 – 800
	Scona	صخري، ناعي	تشبه الكلكر، ذات فجوات ثلجية واضحة جداً	تشبه الكلكر، ذات فجوات ثلجية واضحة جداً	640 – 1000
	Tuff	صخري، حفضي	مسامية	مسامية	800 – 1200
	Obsidian	صخري، حفضي ومتعلل	غير مسامية	خلوية، مزيدة	400 – 800
	Pedite	صخري، حفضي	غير مسامية	خلوية، مزيدة	80 – 420
الرسوبية	الحبن، للطين المنفخي	سيليكات الألمنيوم المائية	غير مسامية	خلوية	560 – 1000
	الإيزوز (صخري مسامي متحول) Slate	سيليكات الألمنيوم المائية	مبلورة	مغلفة مشمعة	65 – 190
	Vermiculite (فيرميكولايت)				
المحتقن الصناعية	الكنكر Cimber	المنتفي من الأفران المضغوطة قليلة الحرق	خلوية	خلوية	720 – 1000
	مخلفات الأفران المعدنية الرغوية Slag	كربونيدية وكلوريدية النوع الجيد يحتوي على SiO_2 35 – 58 % CaO 44 – 47 % Al_2O_3, MgO, Fe_2O_3, Low S SiO_2 أكثر من 40% C (% 20 – 10) قليل من MgO و S	زجاجية	خلوية	320 - 970
	الرماد المتطاير Sintered fly Ash		ناعمة جداً	خلوية	970 - 640

٢. أنواع الركام الخفيف المصنع في مثل البحث

رقم الحبة	صلب + غرين Silt + Clay	سيليكات الألمنيوم	مسامية	مسامية
رقم الريفين	صلب صخري	سيليكات الألمنيوم + أكاسيد الحديد وقليل من أكاسيد المغنيسيوم	ناعمة الملمس	متلاحمة متجمعة
750				
862				





شكل رقم (1)

العلاقة بين مقاومة الانضغاط والعمر بالأيام لنوعي الركام المصنع

5. المصادر References

1. ACI Manual of Concrete practice 1985 part1. Materials and general properties of Concrete (P. 213 R.79).
2. Economic design and construction with light weight aggregate Concrete . Euvolight Conc, Project Program of Brite 02- 1998.
3. Natural aggregate in structural light weight Concrete Akers , David J , Floyd , Robert W. Proceedings of the Session's Related to Structural Materials at Structures Congress 1989 P. 44-55.
4. Building Construction HandBook F. Merritt Third Edition 1975.
5. Properties of Concrete AM. Neville 1977 (P. 522-534).
6. Can perllite be used in Structural Concrete . Mayfield , Brian et.al. Concrete (London) V22 no 10 Oct. 1988 P. 27-28.
7. Study on resistance of high strength-weight Concrete to freezing and thawing. Tamura, K. Fujita, H. Tagaya , K. ; et.al. Proceedings of the sixth (1987) International offshore. Mechanices and Arctic Engineering Symposiam 1987 Mar. 1-6 P. 185-191.
8. Properties of Concrete Manufactured with aggregates of different densities . Berra, Mario. Ferrara. Gerard. Bulletin of the International Association of Engineering Geology no 30 Dec. 1984 P. 339-343.
9. Attapulgite aclay liner solution. William Tobin, Civil engineering / ASCE Feb. 1986.
10. Guide for Cast in – place low Density Cincrete. ACI Journal by ACI Comitte 523 September – October 1986 P. 830-837.
11. Mechanical Properties of High-Strength light weight concrete by Floyd O. slate, Arthur H. Nilson and Salvador Martinez July – August 1986 P. 606-613.
12. Marley make supalite roof tiles at Burton – on – rent plant Anon , Concrete plant and production V5 no 5 May 1987 P. 159-162.
13. كيمياء المعادن والخامات ، تأليف الدكتور عادل كمال جميل والدكتور فليح عجام ، وزارة التعليم العالي والبحث العلمي ، جمهورية العراق ، 1980.
14. The Engineering Index Properties and Mineralogy of Mosul Soil. Dr Kanana M. Thabet , Dr. Mumtaz Amin , Suham Al Ezzo قيد النشر .
15. Annual Book of ASTM standards , part 14, Concrete and Mineral aggregate , American Society for Testing and Materials , 1979.
16. المواصفات القياسية العراقية رقم 1077 لسنة 1985