

امكانية انتاج خرسانة حرارية عازلة من تالف الطابوق الحراري

* رفعت عباس سلوم،^٢ احمد جبار محسن،^١ ازياد ممتاز محمد

^١ قسم مواد البناء، دائرة بحوث البناء، بغداد، العراق

^٢ قسم التخطيط، دائرة بحوث البناء، بغداد، العراق

الخلاصة

تعتبر الخرسانة الحرارية من المواد المستخدمة في صناعة الافران لما تتميز به من تحمل وعزل حراري عالي وقد تم في هذا البحث تصنيع خرسانة حرارية عازلة باستخدام مواد محلية اساسية متمثلة بركام تالف الطابوق الناري الالوميني المستخدم في الكثير من المصانع العراقية ومنها مصانع السمنت مع استخدام مواد مضافة محلية متمثلة في السمنت الابيض الذي يضاف بنسبة ٣٠٪ والالياف الزجاجية التي تضاف بنسبة لا تتجاوز (٢,٥)٪، حيث دلت نتائج الفحوص الفيزيائية والحرارية مطابقتها للمواصفة الامريكية C٤٠١ مما يؤهلها للاستخدام في الافران الحرارية على اختلاف انواعها وبدرجات حرارة لا تتجاوز ١٢٠٠-١٣٠٠ م^٥، وقد تم في البحث انتاج خرسانة حرارية عازلة بكثافة حجمية (١,٣٧ غم/سم^٣) متوسط الالومينا وبإضافة مواد محلية هي السمنت الابيض بنسبة ٣٠٪ والالياف الزجاجية بنسبة ٢,٥٪ وتستخدم بدرجات حرارة تصل الى ١٢٠٠ م^٥ في حين تستخدم الخرسانة الحرارية العازلة ذات الركام عالي الالومينا بدرجات حرارة تصل الى ١٣٠٠ م^٥.
علماً انه قد تم انتاج وجبة ريادية جهزت الى الشركة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة أحد شركات وزارة الصناعة والمعادن كما نجحت دائرة بحوث البناء بتجهيز العديد من شركات القطاع العام مثل مصافي النفط ومحطات توليد الطاقة وكانت بديلاً ناجحاً عن الخرسانة الحرارية العازلة المستوردة.. وتم استعمالها بنجاح.

الكلمات الرئيسية: خرسانة حرارية، عازلة، الطابوق الحراري

١- المقدمة

تعرف الخرسانة الحرارية خفيفة الوزن، بأنها منتجات حرارية عازلة تتألف من خليط من الركام الحراري خفيف الوزن، ومادة رابطة أساسية هي السمنت الالوميني، يكون الركام الحراري الخفيف الوزن على نوعين ركام حراري خفيف مصنع يتمثل في كسر الطابوق الناري الخفيف او مواد طبيعية خفيفة الوزن مقاومة للحرارة مثل الدايتمايات وغيرها [١]. ومن مميزات الخرسانة الحرارية بصورة عامة (عازلة وغير عازلة)، انه يمكن صبها او رصها بمساحات كبيرة وبأشكال مختلفة وفي اماكن حرجية يصعب استخدام الطابوق الحراري الخفيف فيها [١]، ان استخدام المواد الحرارية بصورة عامة والخرسانة الحرارية الخفيفة بصورة خاصة هو لحصر الحرارة داخل الافران والحيلولة دون تسربها الى الخارج بشرط ان لا تتجاوز الحرارة الخارجية لجدار الفرن عن 40 م° والمهمة الاخرى لهذه البطانات هو حماية الاطار الخارجي للفرن من الانصهار او الالتواء، لأنه يصنع عادة من حديد الصلب (steel) واطرافه الى ذلك تساعد هذه المواد المبطنة على تهيئة وسط ملائم يمكن للفني او المهندس من مراقبة العمليات التي تجري داخل الفرن وبدون تواجد هذه البطانة سوف تكون درجة الحرارة عالية جداً بالقرب من الفرن مما لا يسمح لمشغلي الفرن من الاقتراب منه وبذلك يتعذر متابعة او التحكم بالعمليات الخاصة لتشغيل هذه الافران [٢]، ونظر الاستهلاك كميات كبيرة من الطابوق الناري الالوميني في الكثير من المصانع المتواجدة في البلد، حيث يلقى هذا الطابوق بعد انتهاء عمره التشغيلي في الانقاض ولا يتم الاستفادة منه بالرغم من انه يبقى محافظاً على خواصه الحرارية، خصوصاً في حالة عدم تعرضه لتلوث كبير اثناء استعماله في عمليات التصنيع المختلفة مما يسهل اعادة استخدامه لصنع مواد حرارية مثل الخرسانة الحرارية او المونة الحرارية وغيرها، حيث أن الخرسانة الحرارية تطلق على المادة المتكونة من الركام الحراري مضافاً اليه نسب معينة من السمنت فإنه بالإمكان استغلال تالف الطابوق الالوميني وتكسيهه الى احجام معينة كركام حراري تصنع منه الخرسانة الحرارية على اختلاف انواعها، وعلى العموم فإن تالف الطابوق الناري الذي تم استخدامه في هذا البحث يكون على نوعين:

- طابوق ناري تالف عالي الالومينا
- طابوق ناري تالف متوسط - واطئ الالومينا

ونظراً لاستمرار معظم مصانع السمنت في الانتاج حالياً في القطاعين العام والخاص فقد تم التركيز على تالف الطابوق الناري الالوميني المستخدم في تبطين افران السمنت لإمكانية الحصول عليه من شركات السمنت [٢]، ان نوعية الركام الخفيف وخواص السمنت المستخدم في الخلطة الخرسانية ونسبة الماء المضاف عوامل مهمة في تحديد خواص الخرسانة الحرارية العازلة ومكان استخدامها، وبالرغم من ان الركام الحراري المستخدم في بحثنا هذا ركام حراري مصدره الطابوق الناري الالوميني الذي يمتاز بكثافة عالية فيما لو قورن بالركام الذي مصدره من الطابوق الناري الخفيف لكن بالرغم من ذلك تم استخدامه لاستغلال الكميات الكبيرة التالفة من هذا النوع وعدم وجود هذه الكميات من الطابوق الناري الخفيف مع الاخذ بنظر الاعتبار ان تخفيض الكثافة النهائية للخرسانة الحرارية العازلة يتم باستخدام مواد مضافة مصنعة محلياً هي الالياف الزجاجية ذات الخواص الفيزيائية المناسبة خصوصاً كثافتها الواطئة لاحظ الجدول رقم (١)، اما المادة الرابطة المستخدمة لتشكيل الخرسانة الحرارية العازلة فهي السمنت الابيض وهو احد انواع السمنت البورتلاندي الذي يمتاز بخواص فيزيائية وكيميائية تجعله مناسباً لتصنيع

الخرسانة الحرارية الخفيفة ذات درجات التحمل المتوسطة (١٠٠٠-١٣٠٠م^٥) [٣] ، ولابد الاشارة الى ان السبب في عدم استخدام السمنت الالوميني والالياف الزجاجية الحرارية الى عدم وجود صناعة محلية لهذين النوعين لذلك تم الاستعاضة عنها بمواد منتجة محلياً من سمنت ابيض والياف زجاجية نوع (E) ، خصوصاً وانها تفي بالغرض الهادف الى تصنيع خرسانة خفيفة ذات تحمل حراري لا يتجاوز درجة حرارة 1300م^٥، يتم الحصول على خاصية العزل الحراري التي تتطلبها المواد العازلة ومنها الخرسانة الحرارية العازلة، عادة بتقليل الكثافة الكلية مما يؤدي الى تكون فجوات هوائية (Air spaces) داخلها ذات توصيل حراري منخفض جداً (Kcal/mh.c٠٠٠٢) فيما لو قورن بالتوصيل الحراري المرتفع جداً للمواد الصلبة (Kcal/mh.c٢٠٠٠) [٤].

ومن المعلوم ان انتقال الحرارة في المواد الصلبة يتم بواسطة ثلاثة طرق هي:

- التوصيل الحراري Conduction:

وتعتمد على نسبة الفجوات الهوائية داخل الطابوقة وكلما ازدادت نسبة هذه الفجوات فإن التوصيل الحراري يقل وبالتالي يزداد العزل الحراري.

-انتقال الحرارة بالهواء Convection:

وتعتمد على حجم الفجوات الهوائية داخل الطابوقة، حيث تنتقل الحرارة بواسطة حركة الهواء وكلما قل حجم تلك الفجوات الهوائية فإن انتقال الحرارة سوف يقل مما يؤدي الى الزيادة في خاصية العزل الحراري [٤]

-الاشعاع Radiation:

وتعتمد على الفرق في درجات الحرارة بين الوجهين المتعاكسين للكتلة الحرارية فكلما قل حجم الفجوات الهوائية فإن الفرق في درجات الحرارة بين الوجهين المتعاكسين سوف يقل وبالتالي يؤدي الى تقليل من فقدان الحرارة وكلما قل حجم الفجوات الهوائية يكون العزل للحرارة جيداً، وبصورة عامة تعتبر نسبة الفجوات الهوائية وحجمها من العوامل الرئيسية التي تؤثر على الخواص العزلية للكتلة الحرارية حيث كلما زادت نسبة الفجوات الهوائية وكان حجمها صغيراً فإن فقدتها للحرارة يقل وعزلها الحراري يكون جيداً [٤].

١-١ هدف البحث

انتاج خرسانة حرارية عازلة وجعلها متاحة صناعياً باستغلال الكميات الكبيرة من تالف الطابوق الناري الالوميني المتوفرة في الكثير من المصانع ومنها معامل السمنت وهي كميات كبيرة حيث يقدر الاستهلاك السنوي لهذا النوع من الطابوق الناري في معامل السمنت وحدها ٤٥٠٠ طن سنوياً [٢].

٢-١ الدراسات السابقة

ان الدراسات والبحوث في مجال تحضير خرسانة حرارية عازلة والمنجزة في دائرة بحوث البناء قليلة جداً، فيما لو قورنت بالبحوث المختبرية الخاصة بتحضير خرسانة حرارية عادية ويعزى سبب ذلك حيث ان حاجة الجهات المستفيدة للخرسانة الحرارية العادية (غير العازلة) اكثر من حاجتها للخرسانة الحرارية العازلة، و أن الاخيرة تستخدم استخدامات خاصة علما ان

دائرة بحوث البناء انجزت عدد من البحوث المختبرية والمعملية حول امكانية انتاج المواد الحرارية العازلة على اختلاف انواعها وكما يلي:

– قام (الجندي و نسرين، ١٩٨٢) ببحث حول انتاج طابوق ناري عازل للاستخدام في الافران الصناعية وقد امكن تحضير عينات من الطابوق الناري العازل باستخدام خامات الكاؤولين المحلية وتم استخدام نوعين من المضافات المسببة لتكوين الفجوات هي مضافات عضوية وكيميائية وكانت عينات الطابوق المنتجة ذو كثافات واطئة (١-١,٢ غم/سم³) وخواصها مطابقة للمواصفات القياسية المطلوبة [٤].

– قام (عبود واخرون، ١٩٩٨). بتحضير عينات من مادة بنائية حرارية ذات هيكل مسامي خفيف الوزن، وتم في هذا البحث دراسة تأثير المتغيرات الرئيسية في الخلطة التصنيعية التي تتكون من ركام البوكسيت المحروق ومواد مضافة هي خام الدولوميت وحامض الكبريتيك، اضافة الى استخدام مادة رابطة هي الكاؤولين وسليكات الصوديوم، وقد أمكن الحصول على طابوق حراري عازل تراوحت كثافته (٧١،٠-١٠٥،٠ غم/سم³) [٥].

– قام (الجباري واخرون، ١٩٩٣) بإنجاز بحث حول السمنت الحراري العازل للحرارة وقد امكن تحضير عينات من هذا النوع من السمنت ذو خواص فيزيائية وحرارية مختلفة مطابقة للمواصفات المعتمدة علما ان السمنت المستخدم كمادة رابطة في هذا البحث هو سمنت الوميني محلي تم انتاجه حينذاك في معمل سمنت الفلوجة مضافا اليه الياف زجاجية محلية منتجة في شركة ذات الصواري [٣] تم انتاج هذا النوع من السمنت كوجبة ريادية في دائرة بحوث البناء وتم استخدامه في المنشأة العامة للمعدات الهندسية الثقيلة مشروع (٧٤)، وهي احد تشكيلات وزارة الصناعة والمعادن واستخدم ايضا في شركة نفط الشمال الوحدة (١٠٤) كطبقة عازلة بين جدار الفرن والطابوق الناري بالإضافة الى استخدامه لملى الفواصل الحرارية والتي تترك بين الطابوق الناري اثناء بناء جدران الفرن [٦].

– تمكن (فيصل وفائزة، 2000) من تحضير مصبوبات حرارية عازلة وبالاغتماد على مواد اولية مصنعة محليا، تتألف المصبوبات العازلة من سمنت الوميني (حراري) وركام حراري، وتعد هذه المحاولة الاولى لإنتاج خرسانة حرارية عازلة، وكانت نتائج الفحوص مطابقة للمواصفات القياسية المعتمدة حيث بلغت الكثافة الكلية لدرجة حرارة ١١٠ م° (١,٤٢ غم/سم³) وبتقلص خطي لا يزيد عن ١,١ % بعد حرقه بدرجة حرارة ١٢٦٠ م°.

٣-١ المواد الاولية والمضافة

١-٣-١ الموقع

تم استخدام الركام الناتج من تكسير تالف الطابوق الالوميني الذي تم جلبه من الشركة العامة للسمنت الجنوبية- معمل سمنت الكوفة في مدينة النجف الاشرف ويعتبر المادة الاساسية المستخدمة في هذا البحث. اما المواد المضافة وهي السمنت البورتلاندي الابيض تم جلبه من الاسواق المحلية، بينما تم استخدام الاليف الزجاجية المنتجة في الشركة العامة لذات الصواري التابعة لوزارة الصناعة والمعادن وموقعها في بغداد، الكاؤولين الابيض المستخدم في بعض الخلطات يجلب عادة كمادة خام من منطقة دويخلة في الصحراء الغربية.

٢-٣-١ تالف الطابوق الالوميني

يستعمل الطابوق الناري ومنه الطابوق الناري الالوميني - لتطبيق الافران التي تستعمل في عديد من الصناعات وخاصة تلك التي تحتاج عملياتها الى درجة حرارة أكثر من (١٠٠٠ م°)،

مثل افران صهر الزجاج والمعادن وكذلك الافران التي تستعمل في صناعة المواد السيراميكية وغيرها، اضافة الى الطابوق الناري المستخدم في تطبيق المراحل البخارية وابراج التصفية التي تستعمل في الصناعات النفطية والبتروكيمياوية. [٢] ، ولما كان لهذا الطابوق الناري عمر تشغيلي يختلف بالاعتماد على نوعية الافران والعمليات الجارية فيه فانه يتم تبديل بطانات الافران بعد انتهاء عمرها التشغيلي وعادة ما تلقى الاف الاطنان من هذا الطابوق التالف في الانقاض، علماً ان هذا الطابوق التالف قد يفقد بعض خواصه الفيزيائية والميكانيكية ككتلة او كطابوق بأبعاد معينة ، ولكنها لا تفقد خواصها الحرارية من ناحية أخرى بشرط عدم تعرضها للتلوث، وبالتالي فيالإمكان استغلاله كركام حراري يعتمد تحمله الحراري على نسبة مكوناته وخصوصاً نسبة Al_2O_3 ، ويشير الجدول رقم (١) الى التحليل الكيميائي للطابوق الناري الالوميني التالف المستخدم في هذا البحث.

٣-٣-١ السمنت الابيض

وهو احد انواع السمنت البورتلاندي، والذي يصنع بنفس طريقة تصنيع السمنت البورتلاندي العادي مع اضافة بعض المواد منها الكاؤولين الابيض او الحجر الجيري الطباشيري مع تقليل كميات اوكسيد الحديد، ويوضح الجدولين رقم (٣،٢) الخواص الكيميائية والفيزيائية لهذا النوع من السمنت والتي تم تحديدها في مختبرات دائرة بحوث البناء. وعادة ما يستخدم السمنت الالوميني كمادة رابطة لأغراض تصنيع الخرسانة الحرارية على اختلاف انواعها، حيث يشكل الطور المعدني CA النسبة الاعلى للمركبات المعدنية المتواجدة فيه، لذلك تزداد مقاومته للحرارة ،بينما تشكل اطوار (C_2S, C_3S) المركبات الرئيسية الموجودة في السمنت الاعتيادي ومنها السمنت الابيض ،وبالرغم من ان السمنت الابيض لا يمتلك الخواص الحرارية بالمقارنة مع السمنت الالوميني لكن تم استخدامه في بحثنا هذا لعدة اسباب منها:

- لا توجد صناعة محلية للسمنت الالوميني حالياً فيما يعتبر السمنت الابيض مادة متاحة وتنتج في معمل سمنت الفلوجة.
- الخرسانة الحرارية العازلة موضوع البحث هي عازلة ذات تحمل حراري واطى - متوسط لايتجاوز ١٢٠٠-١٣٠٠ م°.

٣-٣-٢ الكاؤولين الابيض

وهو نوع من الاطيان الصالحة لصناعة المواد الحرارية، وهي تمتاز بخواص عديدة تؤهلها لاستخدامها كمادة رابطة ومقاومة للحرارة منها اللدونة العالية (High plasticity) بسبب نقاوته من المعادن غير اللدنة مثل حجر الكلس وغيره. ويوضح الجدول رقم (٢) التحليل الكيميائي للكاؤولين الابيض المستخدم في هذا البحث.

٣-٣-٣ الالياف الزجاجية

تجهز الالياف الزجاجية على شكل كرات بيضاء اللون وهي عبارة عن حزمة من الخيوط الزجاجية يبلغ عددها 40 خيط زجاجي ويتألف الخيط الواحد من 204 شعيرة زجاجية، وان الالياف الزجاجية من أكثر المواد استخداماً في الصناعة والتسليح وبأشكالها المختلفة بسبب قوة شدها العالي وكثافتها النوعية الواطنة، وبسبب كونها مادة خاملة كيميائياً وتعتبر من المواد الرخيصة. وتوجد انواع مختلفة من الالياف الزجاجية اعتماداً على كمية الاكاسيد المعدنية المضافة الى السليكا في عملية انتاجها، الالياف التي تم استخدامها في العديد من بحوث دائرة

بحوث البناء ومنها هذا البحث هي من نوع (E) وتمتاز بقوة شد عالية ويبين الجدول رقم (٤) خواصها الفيزيائية ومكوناتها الكيميائية، ان السبب الرئيسي لاستخدام هذا النوع من الالياف هو كثافتها النوعية الواطئة التي تساهم بصورة فعالة في تخفيض كثافة الخرسانة الحرارية، وتحويلها الى خرسانة حرارية عازلة، بالرغم من ان هذه الالياف المستخدمة في هذا البحث ليس من نوع الفايبر الحراري الذي يتحمل درجات حرارية عالية والذي يصنع باستخدام الاطيان عالية الالومينا مثل الكاؤولين [٣] ، والتي هي غير متاحة في الصناعة المحلية لذلك تم الاستعاضة عنها واستخدام الالياف الزجاجية نوع (E) في تصنيع الخرسانة الحرارية العازلة ذات التحمل الحراري الواطئ الذي لا يتجاوز ١٣٠٠ م° والتي تصنع في شركة ذات الصواري العامة التابعة لوزارة الصناعة.

جدول (1): التحاليل الكيميائية للطابوق الناري الالوميني التالف

المكونات وزناً %								نوع الطابوق الناري الالوميني التالف
Total	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	L.O.I	
99.99	2.48	0.46	Nil	1.99	51.72	42.38	0.96	متوسط الالومينا
99.99	0.86	Nil	Nil	1.70	82.88	14.38	0.17	عالي الالومينا

جدول (٢): التحاليل الكيميائية للسمنت الابيض والالوميني والكاؤولين الابيض

المكونات وزناً %								نوع السمنت المستخدم
Total	CaO	MgO	SO ₃	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	L.O.I	
99.98	44.0	-----	-----	0.45	44.01	11.12	0.40	سمنت الوميني
99.72	62.30	1.02	2.94	0.17	3.61	17.54	11.64	سمنت ابيض
99.58	1.13	0.93	0.52	2.8	32.0	50.18	12.02	الكاؤولين الابيض

جدول (٣): الخواص الفيزيائية للسمنت الابيض استناداً الى المواصفة العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤

الفحص	النتيجة	حدود المواصفة العراقية رقم ٥ لسنة ١٩٨٤ السمنت الابيض
النعومة سم ² /غم	3131	2500 كحد ادنى
وقت التماسك الابتدائي (دقيقة) النهائي (ساعة)	80 4:15	45 كحد ادنى 10 كحد اعلى
مقاومة الانضغاط (نت/مم ²) عمر ٣ ايام عمر ٧ ايام	40 50	15 كحد ادنى 23 كحد ادنى

جدول (٤): الخواص الفيزيائية والكيميائية للألياف الزجاجية نوع (E)

%	الاكاسيد
54	SiO ₂
14	Al ₂ O ₃
17.5	CaO
4.5	MgO
10	B ₂ O ₅
نتيجة الفحص	الخواص الفيزيائية
0.2	الكثافة غم/سم ³
34.5	قوة الشد نت/مم ²

٢- الاعمال المختبرية

تضمنت الاعمال المختبرية المراحل اللازمة لتحضير عينات الخرسانة الحرارية العازلة وكما يلي:

٢-١- تكسير الطابوق الناري التالف

لغرض تهيئة المادة الاولية الاساسية لتحضير العينات وهي الركاب الحراري لابد من تكسير الطابوق الناري التالف الى تدرجات حجمية مختلفة، وتستخدم عملية التكسير للمواد الاولية المستخدمة في صناعة الاجسام السيراميكية لغرض تهيئتها لعمليات التشكيل اللازمة وتختلف الاجهزة المستخدمة في التكسير حسب نوع المواد. وصلابتها وبالنسبة للطابوق الناري التالف تستخدم الكسارات الفككية (Jaw Crusher) لتحويلها الى كتل صغيرة ذات حجوم اقل. [٨]

٢-٢ تهيئة التدرجات الحجمية المطلوبة

ان تحضير عينات من الخرسانة الحرارية العازلة ذات الكثافات الواطنة يتطلب استخدام تدرجات حجمية كبيرة. [١].

ويوضح الجدولين رقم (٦،٧) التدرجات الحجمية لركام تالف الطابوق الناري التي تم استخدامها في تحضير العينات المختبرية. حيث تم استخدام غرابيل قياسية مختبرية على النظام ASTM للحصول على التدرجات الحجمية المطلوبة.

٣-٢ خلط المواد الأولية

يتم خلط المواد الأولية المتكونة من المادة الاساسية، ركام تالف الطابوق الناري، مضافاً اليه السمنت البورتلاندي الابيض كمادة رابطة، مع اضافة الالياف الزجاجية لتقليل الكثافة الحجمية الى الحد الأدنى، وينسب مختلفة مع اضافة الكاؤولين في بعض الخلطات وكما هو موضح في الجدول رقم (٥)، يتم خلط كل من ركام تالف الطابوق الناري مع السمنت الابيض والالياف الزجاجية بصورة جيدة لضمان تجانس الخليط. ثم يضاف الماء بنسبة لا تتجاوز (٣٠-٣٥ %) ولا بد من حصول التجانس التام للخلطة وحصول القوام المناسب الذي يضمن تصلب الخرسانة الحرارية، ان الحصول على التجانس التام والقوام المناسب في تحضير عينات الخرسانة الحرارية العازلة يكون أكثر صعوبة من تحضير العينات الخرسانة الحرارية العادية بسبب طبيعة الالياف الزجاجية المضافة. علماً أن العامل الاساسي لحصول التصلب الابتدائي لخلطة عينات الخرسانة الحرارية العازلة هو نسبة اضافة السمنت وخواصه، تم تشكيل النماذج باستخدام قالب قياسية بأبعاد (٥٠x٥٠x٥٠ سم) لغرض فحص النماذج لاحقاً على اساس المواصفات الامريكية المعتمدة.

٢-٤ تجفيف النماذج

تترك المادة المصبوبة في القوالب لمدة 24 ساعة ثم تفتح وبعدها تترك النماذج لمدة 24 ساعة في جو المختبر ثم يتم اجراء عملية التجفيف للنماذج المشكلة باستخدام برنامج تجفيف لمدة 24 ساعة على درجة ١١٠ م°، وبعد اخراج النماذج او العينات تؤخذ اوزانها وابعادها لتهيأ بعد ذلك الى عملية الحرق.

٢-٥ الحرق

يتم استخدام درجات حرارة مختلفة لحرق الخلطات وكما هو موضح في الجدول رقم (٥) علماً أنه تم استخدام درجات حرارية مختلفة من (١٠٠-١٣٠ م°) اعتماداً على نوع الخلطة ومكوناتها. وان الغرض من عملية الحرق هو معرفة السلوك الحراري للعينات المحضرة، تم حرق العينات باستخدام افران كهربائية عالية الحرارة والموجودة في دائرة بحوث البناء، وباستخدام برنامج حرق تدريجي بمعدل ١٠٠ درجة/ ساعة لضمان عدم حدوث تشقق في العينات. مع فترة إنضاج حراري لمدة ساعتين.

جدول (٥): الخلطات المختبرية

الملاحظات	الياف زجاجية كنسبة اضافية وزنية للخلطة الكلية %	مكونات الخلطة وزناً %			
		كأولين ابيض	سمنت ابيض	ركام تالف الطابوق	رمز الخلطة
حرق النموذج بدرجة 1200 °م	-----	-----	30	70	A _{REF}
حرق النموذج بدرجة 1000 °م	-----	-----	70	30	A1
= = = =	5	-----	50	50	A2
= = = =	5	10	40	50	A3
= = = =	2.5	10	40	50	A4
= = = =	2.5	5	40	55	A5
= = = =	2.5	-----	45	55	A6
= = = =	2.5	5	30	65	A7
حرق النموذج بدرجة 1000 °م	2.5	-----	30	70	A8
حرق النموذج بدرجة 1100 °م	2.5	-----	30	70	A9
حرق النموذج بدرجة 1200 °م	2.5	-----	30	70	A10
حرق النموذج بدرجة 1200 °م ويتدرج حجمي خشن	2.5	-----	30	70	A11
حرق النموذج بدرجة 1000 °م	5	-----	30	70	A12
استخدام ركام تالف طابوق عالي الالومينا	-----	-----	30	70	B _{REF}
استخدام ركام تالف طابوق عالي الالومينا حرق النماذج بدرجة 1300 °م	2.5	-----	30	70	B1

٣- النتائج

تشير الجداول المرفقة (٦،٧) الى نتائج الفحوص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة والمحضرة مختبرياً وقد أجريت الفحوص استناداً الى المواصفة الامريكية، وتصنف الخرسانة الحرارية استناداً الى المواصفة اعلاه الى نوعين، احداها الخرسانة الحرارية العازلة، والتي تصنف الى تسعة اصناف اعتماداً على الكثافة الحجمية والتقلص الخطي عند الحرق، وبالرغم من ان متطلبات المواصفة الامريكية C ٤٠١ تتضمن خاصيتين هما الكثافة الحجمية والتقلص الخطي عند الحرق لكن تم اجراء فحوص اخرى على الخواص الفيزيائية والحرارية للعينات بعد الحرق والتي تعطي مؤشراً لهما على السلوك الحراري لهذه العينات اثناء تعرضها للحرارة. ضافة الى فحص الموصلية الحرارية بدرجة ١١٠ م° والذي يعطي مؤشراً على زيادة العزل الحراري للعينات، وكما موضح في الجدول رقم (٨)، وعلى العموم فإن الفحوص التي تم اجرائها على العينات والتي اجريت بموجب المواصفة الامريكية C ٤٠١ هي:

- الكثافة الحجمية
- التقلص الخطي بعد الحرق
- مقاومة الانضغاط بعد الحرق
- التغير الحراري المفاجئ
- الموصلية الحرارية بدرجة 110م° (للخطة الناجحة والقياسية)

جدول (٦): الخواص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة باستخدام ركام تالف الطابوق الناري واطى- متوسط الالومينا

الدرجة No sieve (%)	الصفة الحرارية (دور)	مقاومة الانضغاط تأثيراً	التقلص الخطي بعد الحرق %	الكثافة الحجمية بعد الحرق غم/سم ³	حرارة الحرق C°	الكثافة الحجمية ظاهرياً غم/سم ³	نسبة التقلص الحجمي نسبة مئوية	محتويات الخلطة وزناً %			رمز الخلطة
								ركام	صفت ابيض	كربون ابيض	
+	-----	10	0.98-	1.63	1200	1.67	-----	-----	30	70	AEE
	-----	-----	1.39-	1.58	1000	1.83	-----	-----	70	30	A1
	-----	فشل النموذج			1000	1.49	5	-----	50	50	A2
	-----	-----	2.33-	1.25	1000	1.44	5	10	40	50	A3
	+30(50%)	-----	3.39-	1.38	1000	1.63	2.5	10	40	50	A4
	+50(15%)	-----	1.32-	1.39	1000	1.58	2.5	5	40	55	A5
	-50(35%)	-----	1.19-	1.35	1000	1.62	2.5	-----	45	55	A6
	-----	-----	1.10-	1.40	1000	1.60	2.5	5	30	65	A7
	-----	-----	0.55-	1.34	1000	1.50	2.5	-----	30	70	A8
+	-----	-----	1.36-	1.35	1100	1.50	2.5	-----	30	70	A9



جدول (٦): تابع

A10	70	30	-----	2.5	1.50	1200	1.37	0.95-	6	أكبر من 15
A11	70	30	-----	2.5	1.48	1200	1.35	1.0-	5.8	أكبر من 15
A12	70	30	-----	5	1.26	1150	1.20	1.30	-----	*

جدول (٧): الخواص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة باستخدام ركام تالف الطابوق الناري عالي الالومينا

رمز الخلطة	محتويات الخلطة وزناً %			B _{BREF}	B ₁
	ركام تالف الطابوق	سمت ابيض	كلوز لين ابيض		
	70	30	—		70
					30
					—
البياف زجاجية نسبية وزن % اضافية للخلطة	—				2.5
الكثافة الحجمية بعد التجفيف 110 °C	2.0				1.69
درجة حرارة الحرق °C	1300				1300
الكثافة الحجمية بعد الحرق °C	1.95				1.64
التفص الخطي بعد الحرق %	1.43-				0.82-
مقاومة الانضغاط منت/مم ²	14.5				6.5
الصدمة الحرارية (دورة)	—				أكبر من 15
التفريج No sieve(%)	+30(50%) (+50(15%) (-50(35%)				- 4+30(75%) (- 30+50(25%) (

جدول (٨): نتائج الموصلية الحرارية للخلطة الناجحة والخلطة المرجعية ونموذج مستورد

رمز الخلطة	الموصلية الحرارية (k) (w/m.k)
A_{REF}	0.8353
A_{10}	0.5310
نموذج مستورد	0.3500

٤- المناقشة

٤-١ ميكانيكية التفاعل

قبل الخوض في مناقشة نتائج الخواص الفيزيائية والحرارية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة، لابد من التطرق الى ميكانيكية التفاعل الحاصلة في تحضير هذه العينات، حيث ان الاواصر المتكونة للخلطات المحضرة تكون على نوعين:

– اواصر هيدروليكية، يسببها السمنت المضاف وتكون القوة لهذه الاواصر عالية في الايام الاولى لتشكيل الخلطات، التي لا تتعرض فيها العينات الى درجات حرارة عالية، ثم تتدهور قوة الاصرة الهيدروليكية نتيجة لفقدان الماء بارتفاع درجات الحرارة، حيث يفقد السمنت الابيض الماء الزائد الذي يحتويه (free water) عند درجات حرارة اوطأ من ١٠٠٠ م°، ويبقى هذا السمنت محتفظاً بكمية من الماء المتحد (combined water) عند درجات حرارة ٦٠٠-٧٠٠ م° وتنتهي كلياً بدرجات حرارة ٩٠٠ م° [٦]

– اواصر سيراميكية، وهي تحدث نتيجة لتفاعل كيميائي يتحقق بارتفاع درجة الحرارة أكثر من ١٠٠٠ م°، بين مكونات السمنت غير المميهة (C2S, C3S)(dehydrated) وبين مكونات الركام الحراري تؤدي الى نمو بلورات وتكوين مركبات حرارية جديدة [٦] وهذه الاواصر السيراميكية هي المسؤولة عن الخواص الفيزيائية للكتلة الحرارية او لعينات الخرسانة الحرارية العازلة بعد الحرق.

٤-٢ الكثافة الحجمية (Bulk Density)

تعتبر الكثافة الحجمية من الخواص الفيزيائية المهمة في تحديد نوعية الحرارية وذلك لعلاقتها الكبيرة في تحديد خواص الحرارية المنتجة، فزيادة الكثافة الحجمية تؤدي الى زيادة قابلية الخزن الحراري (heat storage capacity)، كما تتأثر التوصيلية الحرارية بالكثافة الحجمية. فعند انخفاضها تزداد المسامية فيزداد تبعاً لذلك مقدار العزل الحراري، نتيجة لزيادة نسبة الهواء الذي يمتاز بانخفاض التوصيلية الحرارية له مقارنة بالأجسام الاخرى [٩].

وعلى العموم تتأثر الكثافة الحجمية في المواد الحرارية، بعوامل عديدة ومنها:

- نوعية المواد الاولية الاساسية والمضافة المستخدمة في الخلطات
- التدرج الجببي للمواد المستخدمة
- الظروف المرافقة لعمليات تصنيع العينات مثل طريقة التشكيل، والمواد الرابطة المستخدمة
- درجة حرارة الحرق. وغيرها [٩]

علماً أن الكثافة الحجمية من الخواص المحددة لمتطلبات المواصفة الأمريكية C ٤٠١٠ ، والتي تصنف على أساسها الخرسانة المصنعة قبل حرقها، ومن ملاحظة نتائج الكثافة الحجمية للخلطات A والتي استخدم فيها ركام واطئ متوسط –الالومينا جدول رقم (٦) للخلطة (A1) يلاحظ ارتفاع كثافتها الحجمية بعد التجفيف مقارنة بالخلطة المرجعية (A_{REF})، بسبب زيادة نسبة السمنت الأبيض الى (٧٠%)، حيث أدت النعومة العالية للسمنت المضاف الى تقليل حجم الفراغات وبالتالي ارتفاع قيمة الكثافة الحجمية. وان التأثير الأكبر على الخواص الفيزيائية لعينات الخرسانة عند درجة ١١٠ م° ناتج من الاصرة الهيدروليكية المتكونة بسبب السمنت المضاف

- بالنسبة للخلطات (A3,A2) فيلاحظ انخفاض مقدار الكثافة الحجمية مقارنة بالخلطة (A_{REF}) بسبب ارتفاع نسبة الالياف الزجاجية وتخفيض نسبة السمنت الأبيض الى 50,40 %مقارنة بالخلطة (A1). بالرغم من وجود خام الكاولين الذي يؤدي الى تقليل حجم الفراغات.
- بالنسبة للخلطات (A7,A6,A5,A4) والتي كانت نسب الالياف الزجاجية المضاف فيها (٢,٥%) فكانت كثافتها الحجمية مرتفعة نسبياً (١,٥٨-١,٦٣) غم/سم³ بالرغم من تباين نسب الركام المضاف.
- الخلطات (A11,A10,A9,A8) انخفضت كثافتها الحجمية الى (١,٥ غم/سم³) بسبب تقليل نسبة السمنت المضاف الى (٣٠%) وارتفاع نسبة الركام الى (٧٠%) بالرغم من ان نسبة الالياف الزجاجية المضافة كانت (٢,٥%)
- اما الخلطة رقم (A12) والتي تم رفع نسبة الالياف الزجاجية المضافة الى (٥%)، محاولة من الفريق البحثي للحصول على اوطأ كثافة حجمية ممكنة، كانت (1.26 غم/سم³) ولغرض مقارنة خواصها مع الخلطات السابقة ، اما الخلطات التي استخدم فيها ركام تالف الطابوق الحراري عالي الالومينا جدول رقم(٧) فكانت قيمة الكثافة الحجمية للخلطة المرجعية (B_{REF}) عالية مقارنة بالخلطة المرجعية للخلطات التي استخدم فيها تالف الطابوق الحراري- واطئ متوسط الالومينا (A_{REF}) كما هو موضح في الجدولين (٦,٧) ، ويعزى ذلك الى ارتفاع الكثافة الحجمية للركام الحراري عالي الالومينا الذي يشكل طور المولايث نسبة عالية فيه مقارنة مع ركام تالف الطابوق واطئ-متوسط الالومينا الذي تقل فيه نسبة المولايث اضافة الى وجود اطوار معدنية اخرى مثل الكرسيتلايت وغيرها [٢]، ويلاحظ ان الخلطة (B1) والتي استخدم فيها نسبة الحد الاعلى للركام 70 % والنسبة الاوطأ للسمنت الأبيض 30 % كانت الكثافة الحجمية التي تم الحصول عليها(1.69 غم/سم³) وهي عالية مقارنة بالخلطة رقم(A11)التي كانت كثافتها الحجمية ١,٤٨ غم/سم³ ، اما الكثافة الحجمية لعينات (B,A) والتي تم حرقها بدرجات حرارة مختلفة (١٠٠٠-١٣٠٠ م°) ف لوحظ على العموم انخفاضها بعد الحرق، وكان الانخفاض اكبر عند عينات الخرسانة الحرارية العازلة التي استخدم فيها ركام تالف الطابوق الحراري واطئ – متوسط الالومينا. كما هو واضح في الجدولين رقم (٦,٧) بسبب تزايد تأثير الاواصر السيراميكية المتشكلة اثناء الحرق بدرجات حرارة عالية، وعلى العموم فان الكثافة الحجمية لعينات الخرسانة الحرارية العازلة تنخفض بتقليل نسبة السمنت الى اقل حد ممكن ٣٠ % ورفع نسب الركام

٤-٤ مقاومة الانضغاط Compressive Strength

اثناء عملية استعمال الخرسانة الحرارية العازلة في الافران على تنوعها تتعرض الى مؤثرات ميكانيكية كثيرة، لذا يجب ان تكون قوة تحملها جيدة، حتى يمكنها مقاومة هذه المؤثرات، وبالرغم من عدم تطرق المواصفة الامريكية C401 الى مقاومة الانضغاط ضمن متطلباتها، لكن رأى الفريق البحثي ضرورة اعطاء مؤشر لمقاومة الانضغاط لعينات الخرسانة الحرارية العازلة بعد حرقها، خصوصاً للخلطات الناجحة، التي بالإمكان جعلها متاحة صناعياً، ويلاحظ من نتائج مقاومة الانضغاط للعينات الناجحة (B1,A11,A10) الجدولين رقم (٦،٧) انها ذات قيم جيدة، بعد التأثير الواضح لدرجة حرارة الحرق (١٢٠٠ م°)، والتي ادت الى تشكل الاواصر السيراميكية وتماسك الخرسانة الحرارية العازلة بالرغم من وجود الالياف الزجاجية وانخفاض الكثافة الحجمية مقارنة بالخلطات المرجعية (BREF,AREF).

٤-٥ التغير الحراري المفاجئ Thermal Shock Resistance

تعتبر مقاومة المواد الحرارية للتغير الحراري المفاجئ من الخواص التكنولوجية المهمة لها فحدوث اختلاف في درجات الحرارة التي يتعرض لها الجسم الحراري وخاصة بين السطح والداخل، مسبباً حدوث اجهادات داخلية مختلفة تؤدي بمرور الوقت الى ظهور تشقق وتهشم داخلي، مما يؤثر على الخواص الميكانيكية للخرسانة الحرارية العازلة، حيث تقل قوتها وبذلك يقل عمر استعمالها [٩]، ان العامل المهم في التهشم هو تطور الاجهادات المتكونة وتجاوزها حد اجهاد الكسر لجسم الخرسانة الحرارية العازلة وتعتمد خواص الاجسام الحرارية بالنسبة لمقاومة التغير الحراري المفاجئ على عدة امور منها:

- اختلاف معامل التمدد الحراري في الجسم الحراري
- الضغط الحاصل على الجسم الحراري نتيجة تغير الابعاد اثناء الاستخدام
- تعرضه الى اجهادات ميكانيكية متنوعة.

ولذلك فإن المواد ذات التوصيلية الحرارية الجيدة والكثافة القليلة تكون ذات مقاومة جيدة ضد التغير الحراري المفاجئ [٩]، كما ان زيادة المقاومة للتغير الحراري المفاجئ يعتمد على قابلية المادة على تشتيت الاجهادات المتكونة على طريق التغير في الابعاد، لكن هذه الاجهادات تتزايد عندما لا يحدث تغير في ابعاد الجسم الحراري اثناء التعرض الى درجات حرارة مختلفة، وهنا تأتي اهمية المسامية فزيادة المسامية يعني وجود امكانية التمدد الحر بدون حدوث اي اجهادات لوجود فراغات في الجسم الحراري [٩]، وهذا ما حدث بالضبط لعينات الخرسانة الحرارية العازلة (B1,A11,A10) والتي تم اجراء فحص التغير الحراري المفاجئ عليها بدرجة حرارة ١٠٠٠ م° فقد تجاوزت بنجاح خمسة عشر دورة، دون حدوث تهشم او تشقق في العينات ويعزى ذلك الى عدة اسباب منها:

- انخفاض الكثافة الحجمية وارتفاع المسامية يعني امكانية حدوث التمدد الحر بدون حدوث اي اجهادات لوجود فراغات في الجسم الحراري.

– ارتفاع نسبة طور مولاتي (Mullite) بالنسبة لركام تالف الطابوق المستخدم كمادة رئيسية في عينات الخرسانة الحرارية العازلة، وهو يعتبر من الاطوار المعدنية المقاوم للصدمات الحرارية [٩]

٦-٤ الموصلية الحرارية Thermal Conductivity

تعرف الموصلية الحرارية Thermal conductivity بأنها كمية الحرارة المنتقلة خلال المادة في وحدة الزمن لكل وحدة انحدار حراري على طول اتجاه سريان الحرارة ولكل وحدة مساحة المقطع [١١] ، وتغير خاصية الموصلية الحرارية من الخواص المهمة في المواد الحرارية، حيث ان استعمال الحرارية العازلة ذات التوصيل الحراري المنخفض ضروري ولازم في بعض اجزاء الافران كالجدران والسقوف، التي تتطلب فقدان اقل كمية ممكنة من الحرارة فيها، وبالتالي تقليل كمية الحرارة المفقودة وجعل درجات الحرارة داخل الفرن اكثر تجانساً وثبوتاً [٤]، ويشير الجدول رقم (٨) الى نتائج التوصيل الحراري للخطة الناجحة (A10) ومقارنتها بالموصلية الحرارية للخرسانة الحرارية الاعتيادية لنموذج محلي مرجعي (AREF) ونموذج مستورد.

٧-٤ التحمل الحراري Refractoriness

تختلف المواد السيراميكية عن المواد الفلزية في تفسير مفهوم الانصهار، فالمواد السيراميكية يتم انصهارها لمدى واسع من درجات الحرارة، ويعرف التحمل الحراري انه قابلية المادة الحرارية على تحمل تأثير الحرارة لدرجات عالية دون حدوث انصهار فيها، فعندما تسخن المادة الحرارية يبدأ الطور السائل بالتكون وبزيادة الطور السائل تتدهور المادة السيراميكية نتيجة لفقدان قوى التماسك بين حبيباتها، وان طبيعة وكمية السائل المتكون تعتمدان على المكونات المعدنية والكيميائية والمسامية وسرعة الحرق، وكذلك على جو الحرق في الافران مؤكسداً كان ام مختزلاً [٨]، ان التحمل الحراري لنماذج الخرسانة الحرارية العازلة موضوع البحث كانت محددة بكمية المواد المضافة (سمنت ابيض، الياف زجاجية) لأنها مواد ذات درجات انصهار واطنة، تم حرق النموذج الناجح (A10) لدرجات حرارة مختلفة (١٣٥٠، ١٣٠٠، ١٢٠٠، ١١٠٠، ١٠٠٠) م° وقد بدت معالم الانصهار بدرجة حرارة ١٣٥٠ م°، وحيث ان الدرجة الحرارية الامينة التي يتم استخدام الجسم الحراري فيها تكون اقل بكثير من درجات حرارة تليينه، حيث يجب الاخذ بنظر الاعتبار الظروف الميكانيكية وجو الفرن وطبيعة الوقود المستخدم بنظر الاعتبار لذلك اعتبر الفريق البحثي ان فحص التقصص الخطي عند الحرق هو الدرجة الحرارية المسموح بها استخدام الخرسانة الحرارية العازلة وحسب المواصفة الامريكية ٤٠١C [١٠]، ان اجراء فحص التحمل الحراري كان لمعرفة طبيعة تصرف المادة لدرجات حرارة اعلى ومعرفة نقطة التلين softening point، وهي النقطة التي يحدث عندها انصهار للمادة وهي مفيدة لمشغل الفرن في حالة حدوث ارتفاع مفاجئ لدرجات الحرارة.

٥. الاستنتاجات

تم تلخيص الاستنتاجات التالية:

- امكانية انتاج خرسانة حرارية عازلة ذو كثافة حجمية (١،٣٧ غم/سم³) متوسط الالومينا وبإضافة مواد محلية هي السمنت الابيض والالياف الزجاجية.



- مجلة بحوث البناء ٢٠٢٤، ٩ (١)
- رفعت عباس سلوم وآخرون
- يضاف السمنت الابيض لخلطة الخرسانة الحرارية العازلة بنسبة وزنية (٣٠%) اما الالياف الزجاجية فتضاف بنسبة لا تتجاوز (٢,٥%)
 - بالإمكان استخدام الخرسانة الحرارية العازلة ذات الركام واطئ- متوسط الالومينا بدرجات حرارة لا تتجاوز ١٢٠٠ م°
 - بالإمكان استخدام الخرسانة الحرارية العازلة ذات الركام عالي الالومينا بدرجات حرارة لا تتجاوز ١٣٠٠ م°
 - يحذر استخدام تالف الطابوق الناري (متوسط - واطئ الالومينا) بسبب كثافته المنخفضة مقارنة بالطابوق الناري عالي الالومينا.

المصادر

- [١] Nikov, B. (1964) 'The Technology of Ceramics and Refractories' The M.I.T. press, Massachusetts, U.S.A.
- [٢] الطائي، محمد حيدر، الرمضاني، خيرية عبدالله (١٩٨١) "تحسين خواص الطابوق الطيني"، مركز بحوث البناء.
- [٣] الجباري، صبحي محمد، عبدالقادر، فائزة (١٩٩٣) "الاسمنت الحراري العازل الخفيف الوزن"، مركز بحوث البناء.
- [٤] الجندي، لمعي، إبراهيم، نسرین (١٩٨٢) "انتاج الطابوق الناري العازل لاستخدامه في الافران الصناعية"، مركز بحوث البناء.
- [٥] عبود، رائد حسن، حسين، راقية (١٩٨٥) "دراسة امكانية انتاج الطابوق الحراري العازل بطريقة التفاعل الكيميائي"، مركز بحوث البناء.
- [٦] فيصل، فراس، عبدالقادر، فائزة (٢٠١٠) "انتاج المصبوبات الحرارية العازلة من مواد مصنعة محلياً"، مركز بحوث البناء.
- [٧] حميد، رضا (١٩٨٩) "تقييم حجر الدولومايت العراقي لمعرفة مدى صلاحيته لصناعة الحراريات" رسالة ماجستير، الجامعة التكنولوجية، بغداد، العراق.
- [٨] جورج، بهاء، عباس، رفعت (٢٠٠٠) "انتاج الطابوق الدولومايتي شبه المثبت مخبرياً"، مركز بحوث البناء.
- [٩] ASTM (2005) 'C401-9: Standard Alumina and Alumina-Silicate Castable Refractories'.
- [١٠] الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية (١٩٩٢) "دليل استرشادي مرجعي رقم ٣/٦٣: المصطلحات المتعلقة بالمواد الحرارية".



Producing of Insulating Refractory Castable from Waste of Fire Bricks

*¹Rifat abbas sallom, ²Ahmad jabbar mohesn, ¹Zeyad mumtaz mohamad

¹ Building material department Building Research Directorate, Baghdad, Iraq.

²Planning Departement, Building Research Directorate, Baghdad, Iraq.

Abstract

Refractory castable is one of the materials used in furnace manufacturing due to its high thermal tolerance and insulation. In this research, insulating refractory castable has been produced by mainly using local materials including alumina fire bricks waste which is used in most local factories with thermal insulation areas. Local additives such as white cement and fiberglass have also been used in the production. The results of physical and thermal tests were conformed to the limits of ASTM C401 rendering it suitable for use in thermal furnaces for temperatures up to (1300°C). Moderate alumina thermal insulating castable of (1.37g/cm³) bulk density has been produced in this research with the use of local additives consisting of (30%) white cement and (2.5%) fiberglass which can be used for temperatures up to (1200°C). While thermal insulating castable with high alumina aggregate is usually used for temperatures up to (1300°C). Batches from this product have been supplied to The General Company for Heavy Engineering Equipment one of The Ministry of Industry and Minerals companies, in addition to supplying various government companies including petroleum refineries and power plants. The supplied batches were successfully used and had been a successful supplement of the imported thermal insulating castable.

Keyword: Insulating, Refractory castable, Fire Bricks

*Corresponding author :Rifat abbas sallom
rifatsallom@gmail.com