تحسين المواصفات العامَّة للعوازل الحرارية المحضرة من خام الكاؤولين السوري

د.حامد عبد الله فياض الفلاحي*

كلية هندسة الصناعات الكيميائية، الجامعة العربية الخاصة للعلوم والتكنولوجيا، تل قرطل حماة ، سوريا

د.فيصل بركات، إيمان المنصور

قسم الهندسة الكيميائية، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، جامعة البعث، حمص، سوريا

تاريخ الاستلام : ٢٠١٠/٦/٢٣ تاريخ القبول : ٢٠١٠/١٢/٨

الخلاصة

تعدّ صناعة العوازل الحرارية ذات الكفاءة العالية واحدة من أهمِّ الصناعات العالمية لأنَّها الأساس الـذي تعتمد عليه الكثير من الصناعات التي تتطلب التعامل مع درجات الحرارة المرتفعة. وانطلاقاً من أهميـة هذا الهدف فقد تم إنجاز بحثٍ سابق لتصنيع عازل حراري يعتمد في تركيبه على الكاؤولين المحلِّي آخذين بعين الاعتبار تأثير كل من درجة حرارة الحرق وتغيّر الحجم الحبيبي على المواصفات العامة له.

وبسبب نسبة الألومينا المنخفضة في خام الكاؤولين وفقاً للتحاليل التي أجريت عليه فقـد أدى ذلـك إلـى تخفيض درجة تليينه وانصهاره. ولذلك فإننا سنقوم في هذا البحث بدراسة مدى تأثير زمن الإنضاج ونسبة الألومينا المضافة على تحسين مواصفات الكاؤولين المحلي الفيزيائية، الحرارية، والميكانيكية والتي تنعكس بالتأكيد على قابلية أداء العوازل المنتجة تجاه العزل الحراري وبالتالي تجعلها أكثر كفاءة تجـاه الحـرارة العالية دون التأثير على الخواص الأخرى. كان إنتاج النماذج المخبرية لهذه الدراسـة طبقـاً للمواصـفة القياسية الألمانية**(DIN 51053).**

الكلمات الرئيسية: العوازل الحرارية، الحراريات، عوازل الكاؤولين، خام الكاؤولين السيراميكي، تحسين الكاؤولين.

١. المقدمـــــــة.

يعتقد الكثيرون أنَّ السيراميك ما هوإلا تلك المواد المستخدمة في صناعة الخزفيات والأطباق والمعدات الصحية، ولكن الحقيقة هي أنَّ السيراميك المستخدم في هذا المجال، لا يتعدى كونه صناعة للسـيراميك التقليدي(Traditional Ceramics)وتشمل هذه الصناعات؛ صناعة الإسمنت،الزجـاج، والحراريـات المستخدمة للعزل الحراري للأفران، الخزف،القرميد،أدوات القص والجلخ،والبورسلان ...وغيرها[1] .

بالنظر لأهمية استخدام السيراميك لأغراض تكنولوجية متقدمة فان الحاجة تطلبت وجود أنواع جديدة من السيراميك ذات مواصفات وتطبيقات خاصة لاتتوفر في السيراميك التقليدي، هذه الأنواع الجديدة تسمى بالسيراميك الحديث أو السيراميك المتقدم (New Ceramics or Advanced Ceramics) والذي يتكوَّن من أكاسيد مثل (الأولومينا، السليكا والزركونيا) واللاأكاسيد مثل (كاربيد السليكون والبورون)، وهي مواد ذات نقاوة عالية ولها مواصفات كهربائية، مغناطيسية، كيميائية، ميكانيكية، وحرارية متميزة. لذلك يستخدم هذا النوع من السيراميك في صناعة الأجزاء الدقيقة للالكترونيات، الحاسوب، هندسة المفاعلات، أجزاء المحركات التوربينية، والمواد الفضائية[2].

عام ١٩٨٠ م في جامعة Leeds تم دراسة الخصائص الفيزيائية للطوب الغضاري و تأثير كلاً من المواد العضوية التي قد تتواجد في الغضار ودراسة تأثير توزع الحجم الحبيبي وعمر الغضار على هذه الخصائص [3] .

تأثير إضافة أوكسيد الألمنيوم الصناعي ونوعين آخرين من الغضار المصري على خصائص الحراريات المصنوعة من البوكسايت المحروق درست في جامعة القاهرة عام 1981 [4]، و أشارت النتائج إلى أنَّ هذه المضافات تقلل من التمدد الحراري وتزيد من قابلية تحمل الحراريات المنتجة ضد التشوه الذي يحصل عند درجات الحرارة المرتفعة.

وتوصل كلٌ من Rud, F., Et al. [5] عام ١٩٨١ أثناء دراستهم حول تأثير عوامل الإنتاج على عمر الحراريات الكثيفة تحت تأثير درجات الحرارة المرتفعة إلى أنَّ ارتفاع درجة الحرارة أكثر من ١٥٠٠ ^{o}م وزيادة زمن الإنضاج (Soaking Time) من شأنه أن يعمل على زيادة درجة التحوّل الطوري وبذلك تنخفض قيمة الوزن النوعي للحراريات المنتجة.

أنَّ أعظم توسُّع يحصل عندما تكون نسبة الألومينا من (٧٠-٧٥%)، وهذا ناجم من تكوُّن المولايت الذي يبني طبقة تحيط بحبيبات الكورندوم. وأنَّ التوسع المرافق لعملية تكوّن المولايت يضعف من المقاومة الميكانيكية ويزيد من كمية نفوذ الخبث نتيجة لزيادة نسبة المسامية [6].

يعتبر المولايت (Mullite) طورا رابطا في معظم الحراريات، وقد نال اهتمام مجموعة من الباحثين عام ١٩٨٨[7] ، إذ لاحظوا أن المولايت يعطي مقاومة عالية للصهر، معدل زحف قليل، توسع حراري، موصلية حرارية قليلة، ثباتية كيميائية وحرارية عالية، ومقاومة ميكانيكية عالية.

عام ١٩٩٤ درست خصائص البوكسايت العراقي الأصل وتأثير كل من المقاس الحبيبي، درجة الحرق، زمن الإنضاج، ضغط التشكيل على الخواص العامة له[8]. وفي عام ١٩٩٥ تمكن نفس

الباحثين[9] من دراسة تأثير إضافة الألومينا الصناعية على الخواص العامة للبوكسايت، وتبين من خلال النتائج أن المقاومة ضد منصهر الزجاج والتغيير الحراري المفاجئ تحسنت كثيرا، وأن معامل التوصيل الحراري يتناسب عكسياً مع المسامية إلى حد نسبة الإضافة ٢٠% ثم تصبح طردية بسبب تكون الطور الزجاجي الذي يرفع من قيمة التوصيل الحراري.

درست إمكانية الاستفادة من طرق التحليل الحراري مثل التحليل الحراري التفاضلي DTA و TG لنوعين من الكاؤولين (المسطح والكروي) عام ١٩٩٧ م [10]، لتحديد سلوك مكوناته أثناء تعرضها لتغيرات في الحرارة. وتم استنتاج؛ أنّ الكاؤولينايت الكروي الشكل أكثر استجابة للتغيرات الطورية بارتفاع درجة الحرارة من النوع ذي الحبيبات المسطحة.

استخدم مجموعة من الباحثين[11] عام 1999، تقنية X-Ray Diffraction لتقييم خصائص وسلوك أطيان الكاؤولينايت البرازيلي الأصل تحت تأثير درجات حرارة مختلفة مابين ٣٠٠ ^{o}م و١٢٠٠ ^{o}م . وأشارت النتائج إلى أنَّ الكاؤولين مادة عشوائية تحت ٩٠٠ ^{o}م لكنها تبدأ بالتبلور بحدود ١٢٠٠ ^{o}م متحوّلة إلى طور المولايت والكرستوبولايت.

تأثير درجة الحرارة، المسامية، والكثافة على الناقلية الحرارية لحراريات الكاؤولين الكيني الأصل درست عام 2004 [12]. وتم هذا بإضافة نسب مختلفة من خام الكاؤولين الغير محروق (Grog)، وقورنت النتائج مع المحسوبة نظرياً وأظهرت توافقاً كبيراً.

تمكنَ باحثين من جامعة بنجاب [13]ومن جامعة الملك فهد عام٢٠٠٥ م، بدراسة الخصائص المعدنية لرواسب من الكاؤولين في الباكستان. وقد وجدوا أنَّ المحتوى المعدني لمجموعة الكاؤولين يتزايد في الأجزاء الأكثرُ دقة (الأصغر حجما). تشتق الرواسب من أنواع الصخور الأولية الغنية بالفلدسبار التي غالبا ماتكون من نوع الكالك–الكلاين (كلسية – قلية). وكذلك تم في هذه الدراسة إبراز العناصر المعدنية التي تؤثر على الاستخدام الصناعي لكاؤولين سوات والصخور المحيطة بها. كما درس عدد من الباحثين في عام ٢٠٠٦ [14] تأثير كلاً من توزع الحجم الحبيبي و التركيب المعدني للكاؤولين على الخواص الفيزيائية للمنتجات الحرارية العالية الصهر.

٢. النظــري.

السيراميك (Ceramic).

اتفقت المصادر على تعريف السيراميك بأنه فن تصنيع كافة المنتجات المشكلة من التربة بـــالحرق. تعود أهمية السيراميك إلى درجة انصهاره العالية والتي تفوق درجة انصهار المعادن الفلزية إضافة إلـــى توفر مصادر موادهُ الأوَّلية في جميع أنحاء العالم[15].

الحراريات (Refractories).

هي مواد هندسية سيراميكية لها قابليَّة العزل الحراري لدرجات الحرارة المرتفعة جداً وكـــذلك لهـــا القابلية على المحافظة على خواصِّها المختلفة تحت تأثير الظروف التشغيلية المختلفة، وتمتـــاز بدرجـــة تليينها المرتفعة (Softening Point) والتي هي أكبر من ١٤٥٠ ^{o}م [16].

الاستخدام العام للحراريَّات.

(أ) بناء وتبطين الأَفران التي تعمل بدرجات حرارية لا تقلُّ عن ١٠٠٠ ^{o}م والمستعملة في صناعة المـــواد السيراميكية، صناعة الحديد والصُّلب، الاسمنت، والزجاج.

(ب) تبطين المراجل البخارية وأبراج التَّصفية المستخدمة في الصناعات النفطية والبتروكيميائية.

(ج) حديثاً تدخل في صناعة أجزاء مهمَّة من المحرِّكات النفاثة ومركبات الفضاء، إذ تكون هذه الأجـــزاء مصنوعة من مواد مركبة (Materials Composite) تدخل الحراريَّـــات فـــي تركيبهـــا لإعطائهـــا مواصفات معينة لا يمكن الحصول عليها من المواد الأخرى [1].

استخدام الحراريات للأفران الصناعية.

تستخدم الحراريات في تبطين العديد من الأفران الصناعية المستخدمة في صناعة الزجاج والإسمنت والحديد والكثير من الصناعات البتروكيميائية، كما تستخدم في تبطين المراجل وبعض المفاعلات. ولابدَّ من امتلاك الحراريات المستخدمة في تبطين الأفران مواصفات محدَّدة لتكون صـــالحة للاســـتخدام فـــي المكان المناسب ولكي تحقِّق الغرض المطلوب، وعليه فإنَّه لا بدَّ أن تخضع هذه الحراريات لمجموعة من الاختبارات لتحديد كفاءتها.

الكاؤولين (Kaolin).

في علم المعادن، الكاؤولين عبارة عن صخور رسوبية مقاسها أقل من ٢ مايكرون، ويعتمـــد نـــوع الحراريات المنتجة منه على نوع الكاؤولين الداخل في تركيبها لـــذلك يصـــنف إلـــى كـــاؤولين الآجـــر

الحراري، وكاؤولين صناعة المعدات البيضاء، ويعتبر المكوِّن الرَّئيسي لمعظم أنواع البورسلان والخزف ويعطي بالحرق لوناً ابيضاً إذا كان الكاؤولين عالي النقاوة، أمَّا إذا وُجِد فيه كمية ولو قليلة من الشوائب، مثل أكسيد الحديد، فإنَّه يعطي بالحرق لوناً يميل للصفرة. ويتكوَّن الكاؤولين من مجموعتين أساسيَّتين من المعادن هما؛ الكاؤولينايت ($Al_2O_3.2SiO_2.2H_2O$) والمونتموريلونايت ($(Al_2.2SiO_{10}.(OH)_2$ [17,18,19].

٣. هدف البحث.

تحسين الخواص العامة للعازل المنتج من خام الكاؤولين المحلِّي عن طريق الاختيار الأمثل لكلٍ من؛ زمن الإنضاج ونسبة الألومينا المضافة.

٤. خطة البحث

(أ) تحضير المواد الأولية وإنتاج نماذج مخبرية وفقاً للمواصفة الألمانية القياسية (DIN51053) [20].

(ب) إخضاع النماذج لأزمنة إنضاج مختلفة بهدف اختيار زمن الإنضاج الأمثل.

(ج) إضافة أوكسيد الألمنيوم بنسب مختلفة ودراسة تأثير تغير نسبة الأكسيد المضاف على المواصفات العامة للعازل المنتج.

٥. الجزء العملي .

(أ) تمَّ جلب عدَّة عيِّنات لخامات سيراميكية محليَّة سورية الاصل من نوع الكاؤولين، ذات تراكيب مختلفة ومن عدَّة مقالع هي موقع الكن (الرستن)، موقع جديدة، وموقع حماة وإجراء تحليل كيميائي لها بهدف معرفة تركيبها الكيميائي.

(ب) تمَّ إجراء التحليل الكيميائي بالطريقة الرطبة في معمل اسمنت الرستن لكل من الكاؤولين الخام والمحروق وأوكسيد الألمنيوم المضاف، ويبين الجدول (١) نتائج هذا التحليل.

(ج) تمَّ إجراء التحليل المعدني لكلٍ من؛ خام الكاؤولين الغير محروق، خام الكاؤولين المحروق، باستخدام جهاز حيود الأشعة السينية (X-Ray Diffraction). وذلك بهدف تشخيص المعادن الموجودة في المواد الأولية ومعرفة الأطوار المتكوِّنة بعد حرق النماذج المخبرية.

(د) تمَّ إجراء فحص المجهر الحراري (Heating Microscope) لأجل التعرُّف على سلوكية المواد الأولية أثناء التسخين وما يُرافق ذلك من تغيُّرات مثل التمدُّد والتقلُّص والانصهار.

(ه) تمَّ إجراء التحليل الحراري التفاضلي (Differential Thermal Analysis DTA) لخام الكاؤولين غير المحروق، بهدف التعرُّف على السلوك الحراري لهذا الخام أثناء التسخين أو التبريد نتيجةً لحصول تغيرات كيميائية وفيزيائية. واعتماداً على نتائج هذا التحليل تمَّ وضع برنامج الحرق المناسب في المراحل اللاحقة من العمل.

(و) اعتماداً على نتائج التحليل الكيميائي قمنا بتحضير خلطة تتكون من كاؤولين خام من موقع الجديدة والذي تمَّ اختياره بناءً على النتائج التي توصلنا إليها في بحثٍ سابق [21] والتي تبيَّن لنا من خلالها أنَّ كاؤلين جديدة هو الخام المحلِّي الأكثر ملائمةً لإنتاج عوازل حرارية بسبب احتوائه على النسبة الأعلى من أوكسيد الألمنيوم مقارنةً مع الخامات السيراميكية المحلية الأخرى، تتكوَّن الخلطة من ٢٠% كاؤولين خام و٨٠% كاؤولين محروق حتى 1000 ^{o}م وفق برنامج حرق يبدأ بالتسخين بمعدل 5 ^{o}م / دقيقة حتى درجة الحرارة ٥٠٠ ^{o}م ثمَّ بمعدل7 ^{o}م / دقيقة حتى درجة الحرارة 1000 ^{o}م وذلك بهدف التخلص من التقلص الحجمي الذي تتعرض له المادة أثناء التسخين، تبع ذلك عمليات التكسير والطحن والنخل والتصنيف الحبيبي باستخدام مجموعة من الغرابيل الأمريكية (USA Standard) المختلفة القياسات، ويبين الجدول (2) المقاس الحبيبي لكل من الكاؤولين الخام والكاؤولين المحروق المستخدم في هذه الخلطة، وسبب اختيار هذه الخلطة هو احتواؤها على نسبة متوسطة من المادة اللدنة مما يجعل تأثرها واضحاً ومقبولاً بزمن الإنضاج ودرجة الحرارة.

(ز) تمَّ تشكيل النموذج المقترح بطريقة التشكيل شبه الجافة (Semi Dry Pressing) بعد إضافة ١٠% ماء وحوالي ٠.٥% مولاس للخلطة السابقة، وباستخدام ضغط مقداره ٣٠ نيوتن/مم^{٢}وبسرعة تحميل مقدارها ١٠مم/دقيقة فحصلنا على نموذج أسطواني الشكل بطول 30 مم وقطر 30 مم وهو يتوافق مع المواصفة الألمانية DIN51053 [21] كما في الشكل(١).

(ح) تمَّ وضع النموذج في المجفف عند درجة الحرارة 60 ^{o}م لمدة ساعة كاملة، ثمَّ رفعت درجة الحرارة حتى 110 ^{o}م وترك النموذج عند هذه الدرجة لمدة ٢٤ ساعة. وهنا لابد من التحكُّم بكمية الماء المزال أثناء التجفيف منعاً لحدوث أيّ تشوُّهات في الجسم المجفف بسبب عملية التجفيف غير المنتظمة.

(ط) بالاعتماد على نتائج التحليل الحراري التفاضلي وفحص المجهر الحراري من خلال متابعة التَّغيرات التي تطرأ على الكاؤولين الخام في الدرجات الحرارية المختلفة، تمَّ اختيار درجات حرارية مختلفة مابين ٩٠٠-١٤٠٠^{o}م، و أُنجزَت عملية الحرق في فرن كهربائي مبرمج حتى ١٤٠٠ ^{o}م بعد أن

وُضِعَت النَّماذج داخل الفرن على طبقة من الألومينا للحفاظ على على بطانة الفرن. وتمَّ وضع برنامج حرق وفقاً لمايلي:

* رفع درجة الحرارة بمعدل ٢ ^{o}م/دقيقة من درجة حرارة المختبر وحتى درجة الحرارة ٧٠٠ ^{o}م.
* رفع درجة الحرارة بمعدل ٣ ^{o}م/دقيقة من درجة الحرارة ٧٠٠ ^{o}م وحتى درجة الحرارة ١٠٠٠ ^{o}م.
* استمرار الحرق بمعدل بمعدل ٣ ^{o}م/دقيقة من درجة الحرارة ١٠٠٠ ^{o}م وحتى درجة الحرارة النهائية، ثمَّ تُركَت النماذج عند هذه الدرجة زمن إنضاج (Soaking Time) مقداره ساعتين لأجل زيادة كفاءة التلبيد.
* مرحلة التبريد والتي تبدأ بانتهاء زمن الإنضاج وتَوقُّف الفرن المبرمج عن العمل، حيث تترك النماذج بعد تَوقُّف الفرن لمدة ٢٤ ساعة وبذلك تصبح النماذج مهيأة لتحديد الخواص العامة لها.

٦. النتائج والمناقشة.

(أ) التحليل الكيميائي (Chemical Analysis).

نلاحظ من خلال الجدول (١) انخفاض نسبة أكسيد الألمنيوم في الكاؤولين الخام المستخدم في تصنيع النموذج، وبناءً على ذلك تمَّ اقتراح إضافة أكسيد الألمنيوم من أجل تحسين المواصفات العامة للعازل المنتج.

(ب) تأثير زمن الإنضاج على الخواص العامة للحراريات المنتجة.

يقصد بزمن الإنضاج (Soaking Time)، الفترة الزمنية التي تبقى فيها المادة الحرارية عند الدرجة المطلوبة للحرق. وتأثير هذا الزمن سوف ينعكس على مواصفاتها العامة المؤثرة في العزل الحراري وبالتالي هو مطلب اقتصادي هام من أجل ترشيد الطاقة في الصناعات الوطنية. ولأجل ذلك تم اختيارخلطة تحتوي على نسبة متوسطة من المادة اللدنة مما يجعل تأثرها واضحاً ومقبولاً بزمن الإنضاج ودرجة الحرارة.

من أجل دراسة تأثير زمن الإنضاج على المواصفات العامة تم اختيار درجة حرارة اقتصادية 1200 ^{o}م وزمن إنضاج متغيّر (٠، ١، ٢، ٣، ٤) ساعة، وتم قياس كل من ؛ التغير في الوزن (Weight Change)، التغيير الخطي المستمر(Permanent Liner Change)، الكثافة الحجمية (Bulk Density) [22]، المسامية الظاهرية (Apparent Porosity) ، امتصاصية الماء [22]

(Water Absorption)، الـــوزن النَّـــوعي (Specific Gravity) [22]، مقاومـــة الإنضـــغاط (Compressive Strength)[23] عند كل زمن إنضاج.

بمقارنة نتائج المرحلة السابقة تمَّ اختيار زمن الإنضاج الأمثل، من خلال النتائج في الجدول (٣)، تم ملاحظة أنّ الخواص حصل فيها تغيير ملحوظ حتى زمن إنضاج ساعتين وفوق هذا الزمن يكون هنـــاك ثبوت في الخواص أو حصول تغيير طفيف لا يؤخذ بنظر الاعتبار، لذا تم اعتماد هذا الـــزمن لـــدرجات حرارية من ١٣٠٠-١٤٠٠ ^{o}م للمرحلة اللاحقة من الدراسة.

(ج) تأثير إضافة أوكسيد الألمنيوم على الخواص العامة للحراريات المنتجة.

بالاعتماد على نتائج بحثٍ سابق [21] درسنا فيه تأثير تغير توزع الحجم الحبيبي علـــى الخـــواص العامَّة للعوازل الحرارية وجدنا أنَّ الخلطة **(B)** التي تتألف من ٢٠% كـــاؤولين خـــام و٨٠% كـــاؤولين محروق قد تميزت بمواصفات فيزيائية وميكانيكية مثالية مقارنةً مع نماذج الخلطات الأخرى وخاصة عند درجتي الحرق 1300 ^{o}م و 1400 ^{o}م. وبناءً على ذلك تمَّ اختيار نماذج هذه الخلطة من أجل عملية تحسين مواصفاتها العامَّة. وتمَّ ذلك باستخدام الألومينا وفق النسب الموجودة في الجـــدول (٤). وبتطبيـــق نفـــس الخطوات السابقة من تشكيل، تجفيف، وحرق تمَّ تقييم الخواص العامَّة للمنتج.

إنَّ إضافة نسب من الألومينا أثّرَ إيجاباً على خواص وسلباً على خواص أُخرى. لكنَّ المهم هو أنَّنـــا كسبنا مواصفات ستنعكس بالتأكيد على قابلية أداء الحراريات تجاه العزل الحراري وبالتَّالي تجعلها أكثر تحملاً لدرجات الحرارة العالية دون التأثير على الخواص الأخرى. ويبين لنا الجدول (٥) تأثير كل مـــن نسبة الأوكسيد المضافة، ودرجة حرارة الحرق النهائية على المواصفات العامَّة للنموذج المنتج.

من خلال النتائج تبيَّن أنَّ هناك انخفاضاً في التغير بالوزن والتمدد الحجمي مع زيادة نسبة الألومينـــا في الخلطة وتناقص درجة حرارة الحرق كما يُلاحظ في الشكلين (2) و(3)، من جانـــب آخـــر حصـــل انخفاضٌ مقبول في كلٍّ من؛ الكثافة الحجمية، الوزن النوعي، ومقاومة الانضغاط مع زيادة نسبة الألومينا في الخلطة كما هو موضَّح في الأشكال (4)، (5)، و (6)، يرافق ذلك ارتفاعٌ ملحوظ في قيمة كـــل مـــن المسامية وامتصاصية الماء حسب ما أشارت إليه الأشكال (7) و (8). وتفسير ذلـــك هـــو أنَّ لإضـــافة الألومينا تأثيرٌ كبير على نسبة التحولات الطورية لاسيما أنَّ درجة الحـــرارة غيـــر مرتفعـــة ولاتزيـــد عن١٤٠٠ ^{o}م، والذي حصل هو انخفاض نسبة الطور السائل بسبب انخفاض نسبة التفاعلات الكيميائيـــة

بين الأكاسيد المكوِّنة للخلطات، الأمر الذي يؤدي إلى زيادة احتمالية بقاء قسم من هـذه الأكاسـيد دون تفاعل بوجود زيادة من الألومينا، وذلك لأن الألومينا لها درجة انصهار عالية تصل إلـى ٢٠٥٠ ^{o}م ولا تتأثر في حدود درجات الحرارة المنخفضة ولاتنساب إلى داخل الفراغات لذلك يحصل ارتفاع في قيمـة المسامية وامتصاصية الماء، بالمقابل تنخفض قيمة كل من الكثافة، الوزن النوعي، ومقاومـة الـتحطم. علاوةً على ذلك، إنَّ زيادة نسبة الألومينا يُخفِّض من نسبة أوكسيد السليكون في الخلطة والـذي يشـترك معه في التفاعل لتكوين المولايت ضمن حدود معينة بحيث لايؤثر على القيم أعلاه.

أثبتت نتائج التحليل المعدني للخلطات والتي يبينها لنا الجدول (٦) أنَّ الأطوار المتكوِّنة لحـد نسـبة الإضافة ٢٠% هي المولايت وحده، في حين تبدأ ترسبات بسيطة للكورندوم بالظهور مع المولايت عنـد نسبة ٣٠% و٤٠% ألومينا، وهذه الترسبات يكون ارتباطها ضعيفاً ضمن الهيكل البلوري وتبقى بحالـة حرَّة ممَّا يُضعِف من قوة الارتباط بين الحبيبات وتزداد تبعاً لذلك المسامية لتصل إلـى ٤١.٤٤% عنـد نسبة ألومينا ٤٠% لذلك تضعف المقاومة الميكانيكية من خلال الانخفاض الحاصل فـي قيمـة مقاومـة التحطُّم إلى ٤٢ نيوتن/مم^{٢}عند نفس المقدار من نسبة الإضافة، وهذا مبين في الشكل (6).

إنَّ لنسبة أوكسيد الألمنيوم المضافة إلى الخلطات دورٌ أساسي في تحسين مقاومة الصَّدمة الحراريـة (Thermal Chock Resistance) شرط أن لا تتعدَّى الحدود المسموحة، والعامل المهم في التهشُّم هو تطوُّر الإجهادات الناجمة عن التسخين إلى درجات حرارة مرتفعة ثمَّ التبريد المفاجئ. وتَبيَّن من خـلال النتائج في الجدول (٥) بأنَّ عدد دورات تحمُّل الصَّدمة الحرارية يزداد بزيادة نسبة الألومينا المضافة من ٧ دورات إلى أكثر من ١٥ دورة، وهذا يعود إلى امتلاك أوكسيد الألمنيوم قوة شدٍّ عالية ومعامل تمـدُّد عالي يصل عند درجة حرارة ١٠٠٠ ^{o}م إلى ١٢×١٠٦ إنش/إنـش/^{o}م مقارنـة بالمولايـت ٤.٥×١٠^{٦} إنش/إنش/^{o}م [1]. إضافةً إلى ذلك زيادة مقدار المسامية يضيف عاملاً مهماً إلى العوامـل السـابقة فـي تشتيت الإجهادات الحرارية المتكوِّنة بارتفاع درجة الحرارة.

نستنتج من مقارنة النتائج في درجتي الحرارة ١٣٠٠ ^{o}م و١٤٠٠ ^{o}م في الجـدول (٥)، أنَّ أفضَـل النتائج كانت عند نسبة الإضافة ١٠% ودرجة حرارة ١٤٠٠ ^{o}م.

(د) تأثير الألومينا ودرجة الحرارة على الناقلية الحرارية للحراريات المنتجة

يتناسب معامل التوصيل الحراري طردياً مع درجة الحرارة، وسبب ذلك هو زيادة عمليـة التلبيـد والانصهارات ونموُّ البلورات وبالتالي زيادة معدل التحولات الطورية ونسبة الطور الزجاجي والسـائل

والذي ينساب بسهولة داخل المسامات. واستناداً إلى المعادلة الرياضية (١)، فإنَّ ارتفاع الكثافة وانخفاض المسامية سبَّب زيادة في قابلية الخزن الحراري وبالتالي انخفاض في قابلية العزل الحراري متمثلةً بزيادة قيمة معامل التوصيل الحراري (k)، وذلك نتيجة لانخفاض نسبة الهواء الداخل إلى المسامات والذي يمتاز بانخفاض معامل التوصيل الحراري له وهو ٠.٠٢٣ واط/م.^{o}م [5].

$$\alpha = \frac{k}{\rho \times c_p} \qquad (١)$$

من جانب آخر، سَبَّبَ ارتفاع الحرارة انتقال طاقة حرارية عالية ضمن الطور الصلب وفقاً لقانون فوريير، وذلك لأن المادة الصلبة تتكوَّن من الكترونات حرّة وذرات ذات نظام شبكي منتظم، لذا تنتقل الطاقة الحرارية في الجزء الصلب بهجرة الالكترونات الحرّة من موقع لآخر ضمن البنية الشبكية من المنطقة ذات درجة الحرارة الأعلى الى الأخفض، ممَّا سبَّب زيادة في قيمة معامل التوصيل الحراري لأنَّه يتناسب طردياً مع زيادة الفرق في درجات الحرارة مع الأخذ بعين الاعتبار الخواص الفيزيائية والتركيب المعدني والكيميائي للنماذج المنتجة. وعند إضافة نسب مختلفة من الألومينا لوحظ أنَّ هناك انخفاضٌ ملحوظاً في قيمة الناقلية الحرارية، وهذا ما يبينه الشكل (٩). وقد تمَّ تدوين النتائج في الجدول (7) بدرجتي حرارة حرق 1300 ^{o}م و1400 ^{o}م ونسب ألومينا من ٠-٢٠%. بينما تزداد قيمة معامل انتقال الحرارة برفع درجة حرارة الحرق ولأجل نفس نسبة الإضافة من الألومينا بسبب زيادة نسبة التحول إلى المولايت بدرجات الحرارة العالية، وبما إنَّ الأخير يتميز بموصلية حرارية منخفضة، فإنَّ هذا ينعكس على التوصيل الكلي للمادة. بالمقابل، فبالرغم من كون انبعاثية سطح الحراريات على الإشعاع تزداد بزيادة درجة الحرارة ونسبة الألومينا وخاصة عن طريق المسامات إلاَّ أنَّ هذا لا يضيف مقداراً يمكن أن يؤثِّر على الانتقال الكلي للحرارة كما وإنَّه لا يتأثر إلاَّ بحدود درجات الحرارة التي تتجاوز ١٦٠٠ ^{o}م.

يُظهِر الشكل (١٠) أنَّ الناقلية الحرارية لنماذج الخلطة تتناسب عكسياً مع المسامية ومع زيادة نسبة الألومينا، لنفس الأسباب التي ذكرت أعلاه، مع ملاحظة أنَّ قيم معامل التوصيل الحراري تكون أكبر عند درجة الحرارة 1400 ^{o}م من القيم عند 1300 ^{o}م، وسبب ذلك هو زيادة معدَّل التفاعلات الطورية كلَّما ارتفعت درجة الحرارة وهذا يؤدي إلى مسامية قليلة ومعامل توصيل مرتفع. وهنالك ملاحظة جديرة بالانتباه من قبل مصممي العوازل هي أنَّ انخفاض أو ارتفاع معامل الناقلية الحرارية لايعني بالضرورة صلاحيتها التامة للاستخدام، لأنَّ ذلك قد يكون ناتج من عدم كفاءة عملية التصنيع، إضافةً إلى ذلك قد

يكون على حساب الخواص الأخرى، لذا يجب أن يكون هنالك تناغم أو موائمة مابين الخواص ويتحقق ذلك من خلال الخبرة.

٧. الإستنتاجات.

أ. تبين لنا من خلال الفحص الكيميائي للخامات السيراميكية المحلية الخاضعة للدراسة أن كاؤولين منطقة الجديدة هو الخام الأكثر ملائمةً لإنتاج العازل المقترح، بسبب احتوائه على النسبة الأعلى من الألومينا مقارنةً بالخامات المحلية الخاضعة للدراسة.

ب. توصلنا من خلال فحص التحليل الحراري التفاضلي إلى تحديد التفاعلات الماصة والناشرة للحرارة، وبالتالي وضع برنامج الحرق المناسب للمرحلة اللاحقة من الدراسة.

ج. تمَّ تحديد شروط الإنتاج المثلى بعد دراسة تأثير تغير كل من زمن الإنضاج وتغير نسبة المادة اللدنة، وتغير توزع الحجم الحبيبي على الخواص العامَّة للنموذج المنتج، وبمقارنة النتائج لكافة النماذج وجدنا أنّ الخواص حصل فيها تغيير ملحوظ حتى زمن إنضاج ساعتين وفوق هذا الزمن يكون هناك ثبوت في الخواص أو حصول تغيير طفيف لا يؤخذ بنظر الاعتبار، لذا تم اعتماد هذا الزمن لدرجات حرارية من ١٣٠٠-١٤٠٠ ^{o}م للمرحلة اللاحقة من الدراسة وهي عملية التحسين بإضافة الألومينا.

د. تبيِّن نتائج النماذج المحسنَّة أنَّ أفضل الخصائص كانت عند نسبة ألومينا مقدارها ١٠%.

٨. المصادر.

[1] KINGERY, W.G., BOWEN, H.K., and UHLMANN, D.R., *"Introduction to Ceramics"*, John Wiley and Sons, Inc., New York, (1976).

[2] SHIGEYUKI, S., *"Advanced Technical Ceramics"*, Research Laboratory of Engineering Materials, Tokyo Institute of Technology, (1989).

[3] FITZJOHN, W.H., and WORRALL, W.E., *"Physical Properties of Raw Brick Clay"*, Trans.j.Brit.Ceram. Soc, [79]74-81, (1980).

[4] Nasr, I., EL-Shennawi, E. and Messiha D., *"High Alumina Refractories Made Of Calcined Bauxite and Synthetic Alumina Mixtures"*, Interceram, [30] 5, 494-496, (1988).

[5] RUD, R., YATINA, A., and BULAKH, V., *"Effects of Some Production Factors on the Life of Dinas Refractories of High Temperature in Reducing Conditions "*, Refractories, [22] 8, 222-230, (1981).

[6] HUANG, Y., and THOMAS, D., *"Secondary Expansion of Mullite Refractories Containing Calcined Bauxite and Calcined Clay"*, Am., Ceram., Soc.,Bull., [67] 7, 1235-1238, (1988).
[7] SKOOG, J., and ROBERT, E., *" Mullite and Its Uses as A Bonding Phase"*, Am.,Ceram.,Soc.,Bull.,[67]7,117-121, (1988).
[8] Al-FALAHI, H., and Al-TAIE, M. *"A Study of The Properties and Production of Refractories From Iraqi Bauxite and Their Improvements"*, Engineering and Technology Journal, [16] 1, 39-53, (1994)..
[9] Al-FALAHI, H., and Al-TAIE, M. *"The Effects of Aluminum Oxide on the General Properties of Iraqi Bauxite Refractory"*, The Effect of Scientific Research and Technology on Fabrication of Raw Materials in Arabian Nation, Conference/Baghdad, April, (1995).
[10] JAVIER, H.F., SAVERIO, F. and JOSE, L., *"Thermal Analysis as A Tool for Determining and Defining Spherical Kaolinite"*, Clays and Clay Minerals, Vol. [45] 4, 587-390, (1997).
[11] ALEXANDRE, J., SABOYA, F., MARQUES, B.C., RIBEIRO, M., Salles, C., DA SILVA, M., STHEL, M., AULER, L., and Vargas, H., *"Photo acoustic Thermal Characterization of Kaolinite Clays"*, Analyst, [124] 1209-1214, (1999).
[12] KIMANI, J. N., and ADUDA, B.O., *"Temperature Dependence of the Thermal Conductivity of A Grog Modified Kenyan Kaolinite Refractory"*, African Journal of Science and Technology (AJST), Science and Engineering Series, [5] 1, 6-14, (2004).
[13] MUHAMMAD, A.S., and AHMED, Z., *"Mineralogy of the Swat Kaolin Deposits"*, the Arabian Journal for Science and Engineering. Soc., [30] 2A, 195-218, July (2005).
[14] MONDOL, N. H., BJORLYKKE, K., and JAHREN, J. (2006).
[15] RYAN, W., and FRIC, C., *"Properties of Ceramic Raw Materials"*, John Wiley and Sons, Inc., New York, (1967).
[16] Rothenbry, G.B., *"Refractory Materials"*, 1st. Ed., Park Ridge, New Jersey, USA , PP., 1-2, 9-10, 81-87, (1976).
[17] MILTON.O., *"Engineering Materials Science"*, Academic Press, Inc., (1995).
[18] Al-SADI, T., and Al-TAIE, M. *"The Factor Effects of Sintering Ceramic Materials produce From Local Raw Material"*, A Thesis Master of Science Submitted to the Chemical Engineering Department, University of Technology, Jaunuary, (1993).
[19] JOHN WILEY and SONS, *"Encyclopedia of Chemical Technology, Ceramics Raw Materials, Clay Minerals"*, 3rd. Ed., New York, [5], P., 238 (1982).
[20]. DIN 51053, Blatt (1), Fed., Rep., Germany.
[21] Al-FALAHI, H., FYSAL BARAKAT, IMAN Al MANSOOR*"A Study of Making Use of Local Ceramic Raw Materials in Production of Furnaces Thermal Insulators"* Journal of Al-Baath University, [31] (2009).

[22] *"Annual Book of ASTM Standards"*, [15.01] C 20-87, (1987).
[23] *"Annual Book of ASTM Standards"*, [15.01] C 133-84, (1989).

الجدول (١) المكونات الكيميائية للمواد الخام المستخدمة.

المادة الخام (Raw Material)	المكونات الكيميائية % (Chemical Composition)								L. O. W.
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	
كاؤولين جديدة	53.4	22.43	3.79	2.4	0.28	0.6	1.48	0.13	-
كاؤولين جديدة محروق حتى 1000^oC	٢٤.٤	٦.١٠	٣.٢١	١.٨	١.٤٩	٠.٩٧	١.٧	–	–
أكسيد ألمنيوم	–	٩٩.٩٤	–	–	–	–	–	–	–

الجدول (٢) المقاس الحبيبي للكاؤولين المستخدم ونسبة الخلط.

النسبة الوزنية للكاؤولين غير المحروق	النسبة الوزنية للكاؤولين المحروق حسب المقاس الحبيبي		
	(٠.٥ > مم)	(٠.٥-١ مم)	(١– ٢.٨ مم)
(٠.١٨ > مم)	40%	20%	40%
25%	75%		

جدول (٣) تأثير زمن الإنضاج على الخواص العامة للعازل

رمز الخلطة	زمن الأنضاج (ساعة)	التغير بالوزن (غ)	التوسع الخطي (%)	الكثافة الحجمية (غ/سم^3)	المسامية الظاهرية (%)	إمتصاية الماء (%)	الوزن النوعي	مقاومة التحطم نيوتن/مم^2
B	0	١.٦٧	٤.٣٩	1.99	٣٠.٨٢	١١.٩٥	٣.٧٢	٢٥.٤٦
	1	١.٦٩	٤.٦٧	٢.٠١	٢٦.٨٤	٩.٢٧	٣.٧٧	٢٥.٧٦
	2	١.٧١	٤.٨	٢.٠٣٥	٢٥.٣	٨.٨٤	٣.٨٧	٢٦.٢٠
	3	١.٧١	٥.٠٠	٢.٠٥	٢٤.٠٠	٨.٥	٣.٨٨	٢٦.٣٦
	4	١.٧٩	٥.٧٨	٢.١١	٢٣.٤	٨.٤	٣.٨٨	٢٦.٨٨
المواصفات القياسية		–	٥-٠	١.٨- ٢.٣٥	٣٠-١٥	١٥-٧	٥-٢	٤٥-٢٠

جدول (٤) النسب المئوية للنماذج المحسَّنة بالألومينا

النموذج	النسبة المئوية للكاؤولين	نسبة الأكسيد المضاف %
B0	100	0
B1	95	5
B2	90	10
B3	85	15
B4	80	20
B5	70	30
B6	60	40

جدول (٥) نتائج الخواص العامة للخلطة(B) عند 1300 ^{o}م و1400 ^{o}م.

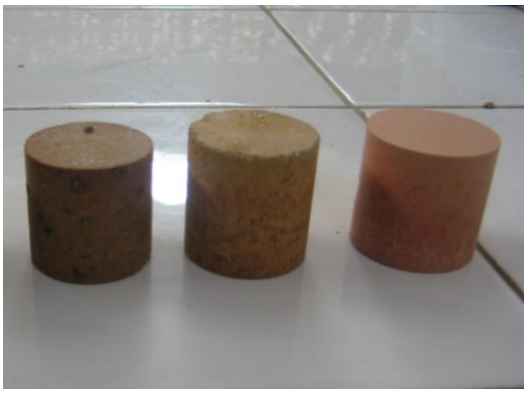
رمز النموذج	نسبة الألومينا المضاف (%)	درجة الحرارة ^{o}م	التغير بالوزن (غ)	التوسع الخطي (%)	الكثافة الحجمية غ/سم٣	المسامية (%)	امتصاصية الماء (%)	الوزن النوعي	مقاومة الانضغاط نيوتن/مم٢	مقاومة الصدمة الحراري
B0	0	١٣٠٠	1.55	9.45	2.145	14.68	2.96	4.4178	42.78	>7
	0	١٤٠٠	1.83	15.21	2.17	12.81	0.93	15.63	52.17	>7
B10	١٠	١٣٠٠	1.210	7.74	1.95	26.66	7.198	4.387	22.48	>15
	10	١٤٠٠	1.54	8.66	2.03	22.11	4.45	6.50	29.68	>15
B15	15	١٣٠٠	1.09	7.04	1.87	31.36	10.01	4.24	15.00	>15
	١٥	١٤٠٠	1.47	7.12	1.98	27.00	7.20	4.63	23.65	>15

جدول (6) نتائج (X–Ray) والكيميائي للخلطة (B)، عند 1300 ^{o}م.

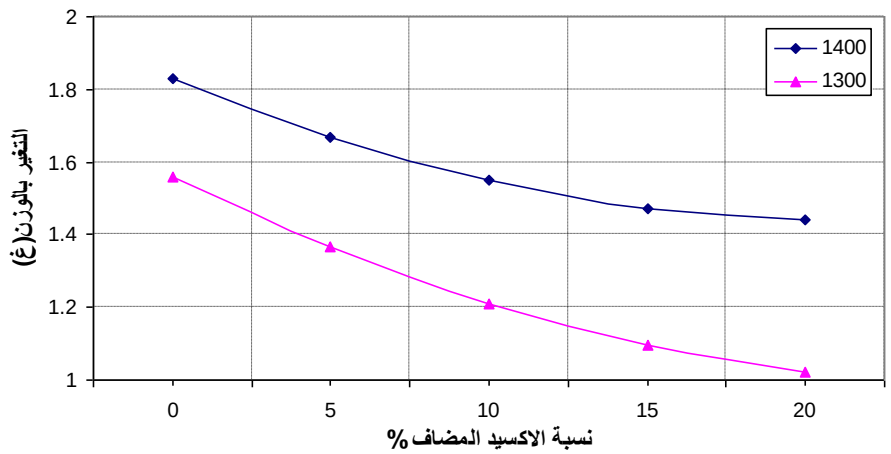
نسبةأوكسيد الألمنيوم المضاف %	SiO_2	AL_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	التحليل المعدني بجهاز X-Ray
0	٦٢.٨٣	٢٣.٢٤	٦.٠٩	٢.٣٨	١.٤٦	١.٧٥	١.٠٥	**المولايت**
10	٥٢.٨٢	٢٨.٦٦	٦.٤٠	٢.٢٧	١.٥٩	١.٧٣	٠.٩٠	**المولايت**
20	٤٣.٢٦	٣٤.٩٧	٥.٧٧	١.٤٨	١.٦٦	١.٧٣	٠.٨٤	**المولايت**
30	٣٦.٦٣	٣٨.٦٥	٥.٥٧	١.٨٢	١.٧٤	١.٧٤	٠.٧٨	**المولايت + الكورندوم**
40	٣٢.٥٦	٤٥.٦٩	٦.٤١	١.٥٩	١.٦١	١.٧٤	٠.٨٧	**المولايت + الكورندوم**

جدول (٧) الناقلية الحرارية للخلطة المحروقة عند 1300 ^{o}م و 1400 ^{o}م

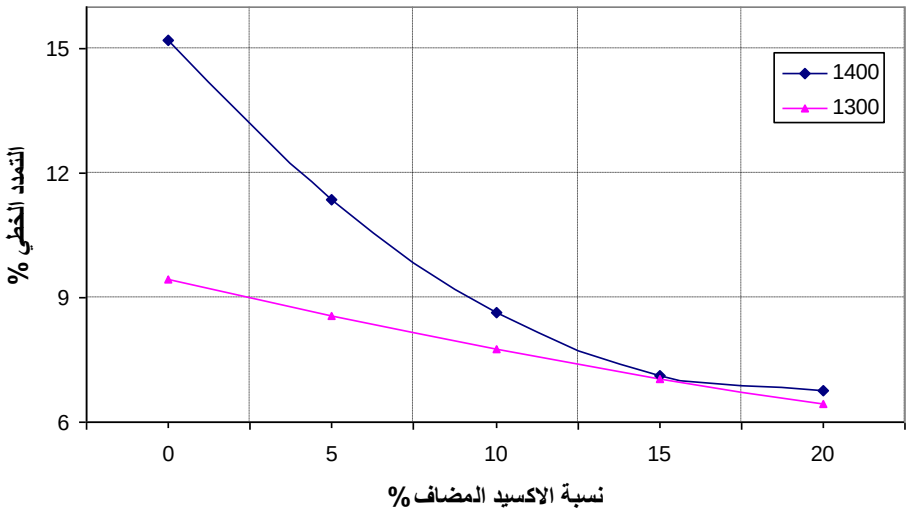
نسبةالالومينا المضافة (%)	درجة الحرارة (^{o}م)	الكثافة الحجمية (غ/سم^{3})	المسامية (%)	الناقلية الحرارية (واط/م.^{o}م)
0	١٣٠٠	**2.13**	**17.00**	١.٣٧
0	١٤٠٠	**2.17**	**12.81**	١.٤٤
٥	١٣٠٠	**2.04**	**21.10**	١.٣٢
٥	١٤٠٠	**2.09**	**17.38**	١.٣٩
١٠	١٣٠٠	**1.95**	**26.66**	١.٢٧
10	١٤٠٠	**2.03**	**22.11**	١.٣٣
15	١٣٠٠	**1.87**	**31.36**	١.٢٥
١٥	١٤٠٠	**1.98**	**27.00**	١.٣٢
٢٠	١٣٠٠	**1.80**	**35.19**	١.٢٤
٢٠	١٤٠٠	**1.94**	**32.04**	١.٣٢



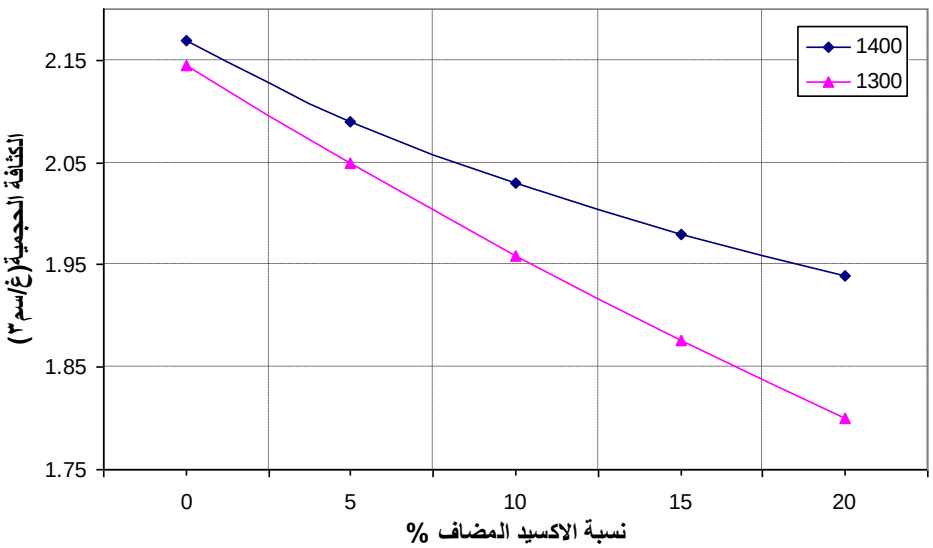
الشكل (1) النموذج المنتج وفقاً للمواصفة الألمانية **DIN51053**.



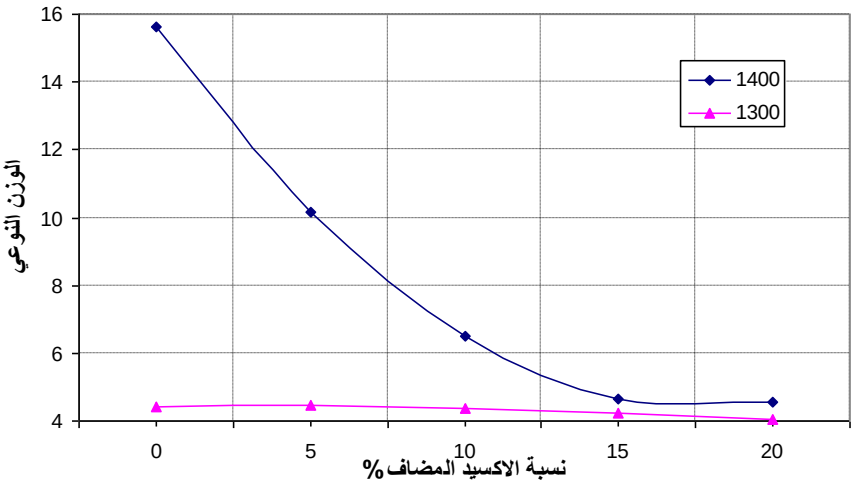
الشكل (٢) تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم ودرجة الحرارة على التغير بالوزن



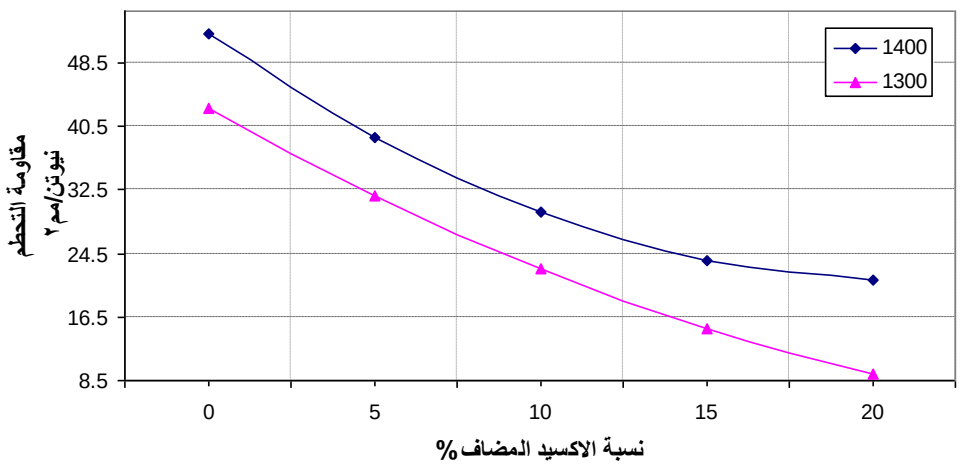
الشكل (٣) تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم ودرجة الحرارة على التمدد الخطي



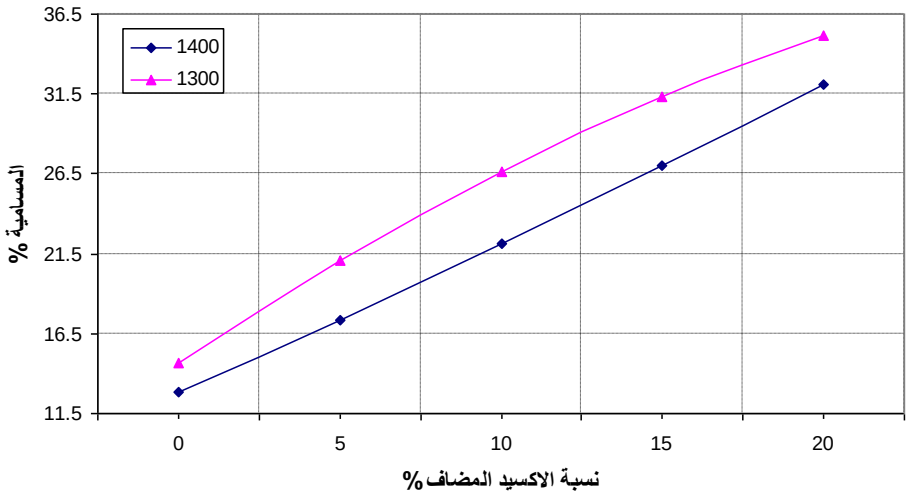
الشكل (٤) تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم ودرجة الحرارة على الكثافة الحجمية



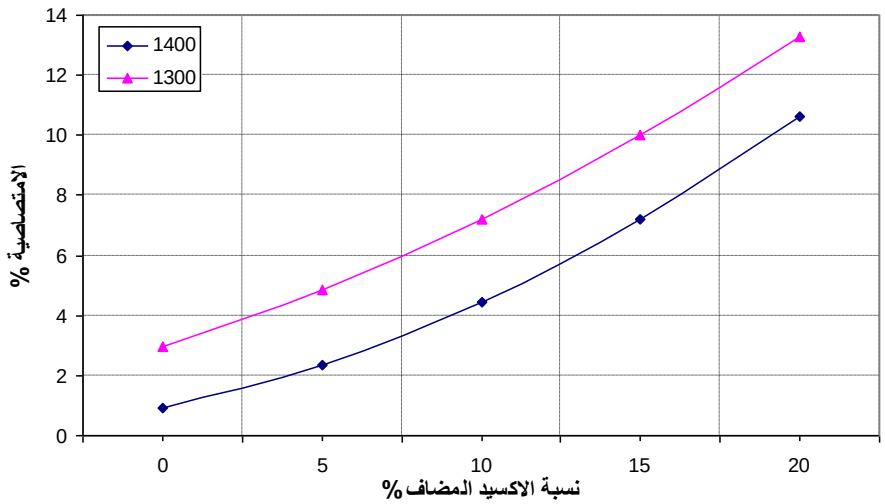
الشكل (٥) تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم ودرجة الحرارة على الوزن النوعي



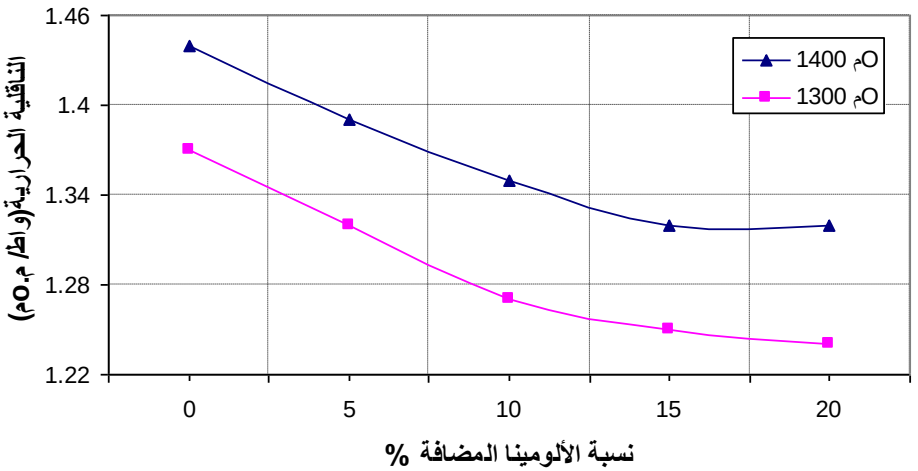
الشكل (٦) تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم ودرجة الحرارة على مقاومة التحطم



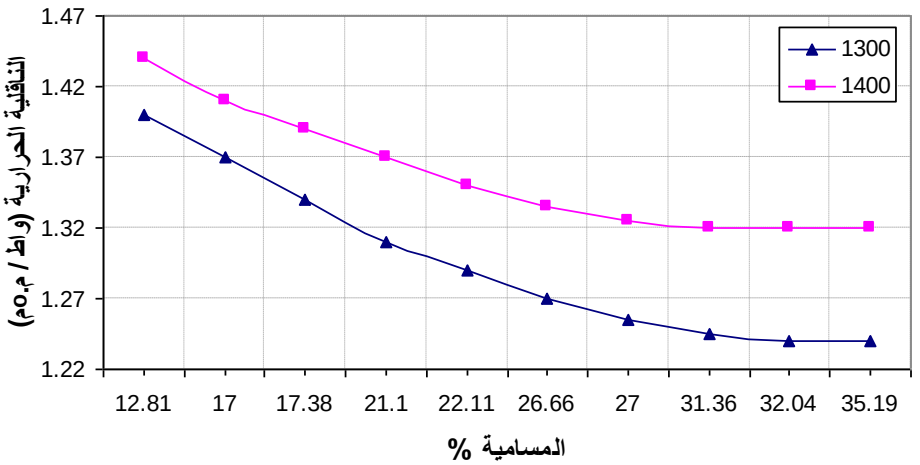
الشكل (٧) تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم ودرجة الحرارة على المسامية



الشكل (٨) تأثير نسبة أكسيد الألمنيوم ودرجة الحرارة على امتصاصية الماء



الشكل (٩) تأثير نسبة الألومينا على الناقلية الحرارية عند درجات حرارية مختلفة



الشكل (١٠) تأثير المسامية على الناقلية الحرارية بعد إضافة الألومينا عند درجات حرارية مختلفة.

Improvement of General Properties of Thermal Insulators Prepared from Syrian Locally Raw Kaolin

Dr.Hamed A. Al Falahi *
College of Chemical Industries Engineering, Arab University for Science and Technology, Tal Qartal, Hama Province, Syria

Dr.Fysal Barakat, Iman Al Mansoor
Department of Chemical Engineering, College of Petroleum. Engineering, Al-Ba'ath University, Homs, Syria

Abstract.
High performance thermal insulators industries is recognized as one of most significant industries worldwide. This, of course, due to its basic role in industries requiring elevated temperatures. Concerning this target, a former study was performed in production of a thermal insulator containing locally available kaolin taking into consideration the effect of ignition temperature and grain size on the general specifications of the insulator.
The low alumina content in kaolin samples , as shown by analysis, has resulted in lowering both the softening and melting points. It is planned in this research to study the effect of soaking time and added alumina on improving physical, thermal and mechanical properties of kaolin sample. Certainly, better properties of sample will result in better performance towards thermal insulation and to be more effective in resisting elevated temperature without affecting other properties.

Keywords: Heat insulators, refractories, kaolin insulators, ceramic kaolin, improvement of kaoline.