# تطوير مواصفات الطابوق الناري العازل المستعمل في تبطين افران الصناعة النفطية

# Development the Specifications of the light Weight fire brick

عبدالكريم دهش الزبيدي ،جامعة النهرين – كلية الهندسة

**الخلاصة:**

تم في ه ذا البحث انتاج طابوق ناري عازل خفيف ذو مواصفات عالية من اضافة مادة فلوريد الالمنيوم (المتوفرة محليا) الى المادة الاولية وهو طين الدويخلة تم الحرق في درجات حرارة عالية ومختلفة وتتراوح من 900 – إلى 1300م° حيث تحدث تفاعلات كيماوية بين الطين والمادة الكيماوية المضافة حيث يتكون نتيجة التفاعل المولايت المسامي والتي تزيد من قابلية هذا النوع من الطابوق على العزل الحراري .

ميزات الطابوق المنتج في هذا البحث هذا هو انخفاض معامل التوصيل الحراري (0.15kcal/m.h.c) مقارنة مع انواع اخرى.

المرجع2 و المرجع 3هي عبارة ع ن بحوث قام بها مجموعة من الباحثين في مركز بحوث البناء التابع لوزارة الاسكان حاليا وسابقا الى مجلس البحث العلمي .

**The Abstract :**

In this research alight weight insulating brick was produced with high specifications by adding aluminum fluoride {which is available in Iraq} to Dwechla clay. after that the mixture is fired in high differentTemperatures reaching 1300 ̊C. Chemical reaction happens during burning which results sponge mullite increasing the thermal insulation of the refractory or the brick. In this research law heat conduction of the insulating brick {0.15 kcal/ m. h. c}was produced.

**المقدمة:**

للعوازل الحرارية السيراميكية استعمالات كثيرة منها على سبيل المثال لا الحصر استعمالها لتبطين الافران في العديد من الصناعات المختلفة والتي تتطلب درجات حرارية عالية جدا تصل الى اكثر من 1000 مْ مثل افران صهر الزجاج (10) والمعادن كذلك الافران المستعملة في الصناعات البتروكيمياوية وكذلك في تبطين المراجل البخارية وابراج تصفية النفط وفائدة تبطين الافران بهذا النوع من العوازل الحرارية هو حصر الحرارة داخل الفرن والحيلو لة دون تسربها الى الخارج وكذلك المحافظة على الغلاف الخارجي كما ان تبطين الافران بهذا النوع من العوازل الحرارية يحافظ على حرارة معتدلة وملائمة للعمل في المحيط الخارجي افرن . ويستعمل حوالي 79% من صناعة الحديد والصلب هذا النوع من الطابوق[2]. ان الخواص الفيزياوية والميكانيكية للطابوق الناري الطيني تعتمد على مكونات الطين الكيمياوية والمعدنية ,الجدولان رقم (1) و(2) يوضحان التحاليل الكيماوية لهذا الطين الذي تم الحصول عليه من (منطقة الدويخلة محافظة الانبار ) . تزداد قابلية العزل الحراري للمواد السيراميكية عن طريق

في هذا المجال هو تكوين فراغات هوائية او غازية حيث ان الناتج النهائي لمثل هذا التفاعل هو كاوؤلين(Kaoline) مع امكانية تحرر غاز SiF4تاركا وراءه فقاعات غازية تساعد على زيادة المسامية للطابوق المنتج وهناك تصور ثاني للتفاعل.

$$3SiO_2 + 4AlF_3 \text{ --------} \rightarrow 2Al_2O_3 + 3SiF_4 \text{ ---------- ( 2)}$$

كما في التفاعل رقم (1) يكون ناتج تفاعل رقم (2) غاز فلوريد السليكون $SiF_4$ ايضا معطيا النتيجة نفسها من حيث تر كه فقاعات غازية تساعد على زيادة مسامية الطابوق مع نتيجة نهائية زيادة العزل الحراري للطابوق المنتج . ان مادة فلوريد الالمنيوم مادة متسامية, ان اضافة فلوريد الالمنيوم الى الطين (طين الدويخلة) يكوّن على الاغلب غاز فلوريد الهيدروجين (HF) او فلوريد السيلكون SiF4 نتيجة التفاعلات الحاصلة خلال الحرق

$$2AlF_3+H_2O \text{ -----} \rightarrow Al_2O_3+6HF\text{---(3)}$$

$$SiO_2+4HF \text{ ------} \rightarrow SiF_4+2H_2O\text{-----(4)}$$

## المادة الاولية( Clay)

المادة الاولية المستخدمة في هذا البحث هي اطيان الدويخلة والتي تمتاز باللدونة العالية , حيث يضاف اليها مادة فلوريد الالمنيوم وكذلك اوكسيد وهيدروكسيد الالمنيوم .

**.ملاحظة** : ان مادة فلوريد الالمنيوم متوفرة وتصنع محليا داخل العراق .

### طريقة العمل والاجهزة المستعملة :

### 1-العمل :

تم اجراء التجارب على نماذج من اطيان الدويخلة ومواد كيماوية مثل فلوريد واوكسيد وهيدروكسيد الالمنيوم

تخفيض كثافة المادة وان الطريقة الاكثر استعمالا داخل المادة . وهذه الفراغات او المسامات يجب ان تكون صغيرة الحجم بما فيه الكفاية وذلك لمنع حدوث تيارات حمل حرارية [1] وذلك لتقليل قابلية التوصيل الحراري وجعلها واطئة ق ياسا مع المواد الصلبة الاخرى . وكما هو مبين [2]:حيث ان للهواء قابلية توصيل حراري

هي0.029kcal/m.h.Cوللطين المحترق الصلب 0.45kcal/m.hC, لقد تطرق عدد من الباحثين ومنهم على سبيل المثال الباحث لوكسي [4] الى انتاج مواد عازلة حرارية سيراميكية باضافة مواد غير عضوية الى الطين . وقدمت هذه البحوث نتائج مشجعة وتتيح للاخرين الفرصة في تطوير هذه البحوث. مع امكانية تطبيقها على الاطيان العراقية. علما ان التركيب المعدني والكيماوي للاطيان العراقية يختلف عما هو في اطيان البلدان الاخرى والتي اجريت فيها البحوث السابقة .

### طرق انتاج الطابوق الناري العازل الخفيف :

توجد عدة طرق لانتاج هذه الطابوق ولكن اهمها تلك التي تخص هذا البحث هو ما عرضه جي البرت [4] والذي يتضمن انتاج طابوق ناري عازل خفيف طيني وذلك باضافة مركبات الالمنيوم مثل اوكسيد وهيدروكسيد وفلوريد الالمنيوم . ان البحث الحالي يعتمد على تطبيق هذه المفاهيم . ان تفاعل فلوريد الالمنيوم مع السليكا قد صور حسب ما عرضه البرت(5) على الشكل التالي :

$$12AlF_3 + 13SiO_2 \text{ -----} \rightarrow 2\{3Al_2O_3.2SiO_2\} + 9SiF_4 \text{ -----} \quad (1)$$

الجزئية وذلك لسهولتها ولتوفر الاجهزة المختبرية (المكبس اليدوي مثل عصارة الفواكه المستعملة في محلات بيع العصائر).

3. **التجفيف :** الماء المخلوط مع الطين الحراري جزء منه يكون طبقة عازلة بين الرقائق ويسمى ماء التقلص , والجزء الاخر وبكمية قليلة يشغل المسامات الموجودة في الرقائق او الممتصة من قبل سطح الرقائق ويسمى بماء المسامات واثناء عملية التجفيف تتقلص النماذج نتيجة لخروج الماء اثناء التبخر لقد اثبت جونس [6] بان التقلص ينتهي عندما يخرج كل ماء التقلص وكذلك روبنكيكوف[7] اكد ما ذكره ج ونس ويعطي المعادلة الاتية :

**Total Water = Shrinkage Water + Pores Water**

ان ماء المسامات يتراوح عادة ما بين 1–5% من وزن النموذج الجاف ويتبخر اثناء عملية التسخين وبدرجة 110 مْ, تقلص المواد السيراميكية يتناسب طرديا مع كمية الماء المفقودة كلما كانت اللدو نة عالية كلما كانت الرقائق صغيرة الحجم كلما ازدادت كمية ماء التقلص وبالتالي يؤدي الى زيادة تقلص المادة السيراميكية وهذا ما ثبته الباحث بيجو [8] في تجاربه حيث توصل الى علاقة بين التقلص واللدونة ووجد بأنه كلما ازدادت اللدونة ازداد التقلص واعطى لهذه العلاقة المعادلة التالية :

**Plasticity = ( shrinkage water/total water) * linear shrinkage**

من هذا المنطلق ولتفادي حساسية الطابوق المكبوس اثناء التجفيف تم اختيار حجم الرقائق ومن ثم التجفيف في درجة حرارة 110 ْم ومدة التجفيف هو احد عوامل ثبوت الوزن .

**2-تحضير المواد الاولية**

تم اجراء عملية التكسير على الطين المستعمل ثم الطحن والغربلة للحصول على طين ناعم باستعمال غربال من نوع (Mesh 60) اما المواد الكيمياوية فقد اجريت عليها عمليات طحن وغربلة ثم التجفيف للحصول على عجينة متجانسة عند عمل الطابوق , اما الطين المحروق فقد تم تحضيره بحرق كمية من الطين في فرن كهربائي تصل حرارته الى 1450 مْ ولمدة ساعتين .

**3-تحضير النماذج :**

1 - **تحضير العجينة :** تم تحضير ا لعجينة بخلط نسب من الطين المحروق (0%, 15%, 25%, 35%) مع الطين الغير محروق بنسب (50%, 60%) ثم بعد ذلك تضاف احدى المواد الكيمياوية مثل هيدروكسيد الالمنيوم الى الخليط الطيني وبنسب (15%,25%,35%)واوكسيدالالمنيوم النسب ( 15% , 25% , 35% ) وفلوريد الالمنيوم بالنسب ( 15% , 25% , 35% , 40% , 50% )واضيف 12% وزنا ماء الى العجينة محسوبا من وزنها الكلي , حيث اختبرت هذه النسبة من الماء تجريبيا حيث وجد ان الطين المنتج بهذه النسبة يمتاز بلدونة جيدة .

2 - **التشكيل :** لغرض تحضير النماذج المختبرية تم اختيار طريقة الكبس ذو الرطوبة الجزئية وذلك لان الطابوق المنتج بهذه الطريقة يمتاز بمسامية جيدة احسن من الطرق الاخرى وتقلص جاف منخفض وقوة تحمل عالية بالاضافة الى مقاومته للتغيرات الحرارية الفجائية ان العينة الناتجة من جهاز التشكيل اليدوي تكون على شكل اسطواني قطره 32.5 ملم . لقد تم تبني طريقة الكبس ذو الرطوبة

الكثافة الكلية = وزن النموذج الجاف بعد الحرق \ وزن النموذج المشبع بالماء – وزن النموذج بالماء غم \ سم3 . الرسم (2) يمثل نتائج هذا البحث .

**2 -فحص امتصاص الماء :**

تم تحديد نسبة الماء الممتص من قبل النموذج كالاتي :

نسبة امتصاص الماء = وزن النموذج المشبع بالماء – وزن النموذج الجاف \ وزن النموذج الجاف *100

**3 -فحص قوة التحمل :**

لغرض قياس قوة تحمل الطابوق الخفيف تم ايجاد المساحة السطحية للعينات وثم تسليط ضغط على العينات بواسطة جهاز ضغط هيدروليكي يدوي حتى الانكسار الذي يحدث في العينة :

قوة التحمل = الحمل \المساحة السطحية كغم \سم$^2$ [2].

**4 -فحص التوصيل الحراري :**

تم ايجاد التوصيل الحراري لجميع النماذج وفي درجات حرارية مختلفة باستعمال الرسم رقم (4)

**5 -سعة الخزن الحراري :**

تم قياس سعة الخزن الحراري للطابوق الخفيف في هذا البحث باستعمال العلاقة التالية[1]:

$$\text{Heat capacity} = \sum_{i=1}^{n} Y_i X_i C_i$$

$Y_i$ = النسبة الوزنية

$X_i$ = الكثافة

$C_i$ =السعة الحرارية [2]

**المرحلة الاولى:**

وضع العينات في الجو الطلق ولمدة 48 ساعة لكي يتم التبخر طبيعيا .

**المرحلة الثانية :**

تجفيف العينات بالتسخين الكهربائي وفي درجة حرارة 60 مْ ولمدة 24 ساعة ثم رفع الحرارة لتصل الى 110 مْ ولمدة 24 ساعة اخرى .

1 -**الحرق :** عند تسخين الاطيان من الكائولينات (kaolinite) يبدأ بفقدان الماء الميكانيكي والمتبقي بعد التجفيف وكذلك ماء التبلور , الباحث راشيفسكي[9] لاحظ بان اكبر كمية من الماء المفقود (ماء التبلور) تم ما بين 500–600 مْ وان فقدان الماء يؤدي الى ظهور التقلص والذي يبدأ في درجة حرارة 500 مْ ويتنهي في درجة حرارة 800 مْ وكما موضح في الشكل رقم (1) . وفي هذا البحث تم الحرق في فرن كهربائي وفي درجات حرارية مختلفة تتراوح من 900 الى 1300 مْ .

**الفحوصات**

تم اجراء الفحوصات المختبرية على الطابوق المنتج في هذا البحث لغرض مقارنة خواصه مع المواصفات العالمية التي حددت خواص الطابوق الناري الخفيف , حيث تتراوح الكثافة من 600 الى 1600 كغم \ م$^3$ مسامية 25 الى 70 % والتحمل من 20 الى 25 كغم \ سم$^2$ [2].

**1 فحص الكثافة الكلية**

توزن العينة وهي جافة ومن ثم تغطس في الماء المغلي ولمدة ربع ساعة وبعد ذلك يحسب وزن العينة المشبعة بالماء وكالاتي :

Where X = Bulk density kg / m3 C = Specific heat = 0.2 kcal / kg.C

G2 = weight of the dried sample in gm

الشكل البياني رقم (6) يمثل نتائج هذه التجربة بالتسبة للطين المحروق وغير المحروق.

8 - **فحص انتشار الحرارة** لغرض ايجاد مدى انتشار الحرارة في الطابوق الخفيف المنتج في هذا البحث فقد استعملت العلاقة التالية[1].

Thermal Diffusivity = Thermal conductivity / heat storage capacity in m2 / h

While thermal conductivity in kcal / h.m.c

**الاستنتاجات :**

1 - **الكثافة :** تم الحصول على طابوق ذو كثافة واطئة تصل الى 67و. غم \ سم3 نتيجة اضافة مادة فلوريد الالمنيوم(50% ) الى المادة الاولية والحرق لدرجة حرارة 1200 مْ كما في الجدول رقم (5) وان هذه النتيجة التي تم الحصول عليها في هذا البحث هي ضمن المواصفات العالمية للطابوق الناري الخفيف حيث تتراوح الكثافة من 6و. الى 1.6 غم \ سم3[2]. ان احسن نتيجة تم الحصول عليها هي اضافة مادة فلوريد الالمنيوم الى الطين وحرقها بدرجة حرارة 1200 مْ .

2 - **المسامية :** في هذا البحث تم الحصول على مسامية للطابوق تتراوح من 13,8 الى66%,5 ومن الشكل رقم (3) يتضح ان المسامية تزداد مع ازدياد الحرارة للحرق ولكن هذه العلاقة تبقى الى درجة حرارة 1200 مْ حيث بعد ذلك تنخفض المسامية كلما ارتفعت د رجة الحرارة اكثر من 1200مْ كما في الجدول رقم (3) والسبب في ذلك يعود الى انصهار حبيبات الطين في الحرارات العالية جدا وبالتالي امتلاء المسامات بتلك المنصهرات

**6 فحص المسامية :**

المسامية = وزن النموذج المشبع بالماء – وزن النموذج الجاف \ وزن النموذج المشبع بالماء – وزن النموذج بالماء * 100 مع الاخذ بنظر الاعتبار ان بعض مادة فلوريد الالمنيوم يذوب بالماء مما يزيد من مسامية المادة .

**7 فحص اللدونة :**

تم قياس لدونة الطين المستعمل حسب طريقة (pfeffer) وتتم العملية بأعداد خمس نماذج اسطوانية الشكل مع خلط الطين الجاف مع كميات مختلفة من الماء بواسطة قالب له طول قياسي مقداره 40 ملم مرفق مع الجهاز وتوضع النماذج في قاعدة الجهاز ويسلط عليها ثقل مقداره 1192 غم ويقاس طول النموذج بعد تسليط الضغط وفي نفس الوقت تؤخذ كمية من كل عينة توضع في جفنة ويقاس وزنها الرطب وتجفف بعد ذلك حتى ثبوت وزن العينة ومن ثم قياس وزنها الجاف :

a = ho / h1 where ho= height of the sample before loading mm And h1 = height of the sample after loading

W% = ( G1 – G2 / G1) * 100

Where W = water content

G1 = weight of the moist sample in gm

وبالمقارنة مع المواد الاخرى كما في الجداول (6)و(7)و(8)(بوجود طين محترق مع الخليط) .

3 - **قوة التحمل :** ان الشكل رقم (4) يبين العلاقة بين حرارة الحرق للنماذج وقوة تحملها , حيث يتضح من الشكل (4) انه في زيادة الحرارة تزداد قوة التحمل ولكن لغاية حرارة 1000 مْ حيث بعد ذلك تبدأ بالنزول كما في الجدول رقم (5)و(4). بسبب الانصهار وامتلاء المسامات بالمنصهر .

4 - **التوصيل الحراري :** من الشكل رقم (5) فان قابلية التوصيل الحراري تزداد بازدياد الكثافة الكلية ( Bulk density) للطابوق الناري الخفيف حيث كلما استطعنا خفض كثافة الطابوق المنتج كلما قلت قابلية التوصيل الحراري أي زيادة العزل الحراري للطابوق الناري الخفيف المنتج في هذا البحث. ومن الجدول رقم (9) يتضح انه ادنى قيمة يمكن الحصول عليها هي (15, 0) وفي حرارة 1200مْ ومن اضافة مادة فلوريد الالمنيوم .

5 - **سعة الخزن الحراري :** ومن الجدول (10) نلاحظ بان الطابوق الناري الطيني المنتج في هذا البحث له قابلية عزل حراري احسن من المواد الاخرى[1]

6 - **اللدونة :** من الشكل رقم (6) يتضح ان احسن نسبة للماء المضاف يمكن الحصول عليها عندما تكون a = 3.3 ولكن عموما اذا كانت a تتراوح من 2,5 الى 4 تكون العجينة سهلة النشكيل , في الشكل (6) الخط المستقيم رقم (1) يمثل الطين غير المحروق الذي يمتاز باللدونة العالية ولكن هذه اللدونة تنخفض باضافة الطين المحروق كما هو موضح في الخط المستقيم رقم (2) شكل (6) وهذا يعني سهولة تشكيل العجينة . حيث ( a) معرفة سابقا في الصفحة رقم(5) من هذا البحث .

**Table (1) : - Chemical analysis of Dewechla clay**

| Material | % | Indicated limits for suitable fire clays |
|---|---|---|
| Al2O3 | 37 | |
| SiO2 | 57.8 | |
| TiO2 | 1.6 | Up to 4% |
| Fe2O3 | 1.45 | Not more than 2.5% |
| CaO | 0.7 | Not more than 1% |
| K2O | 0.4 | Not more than 3% |

## Table (2) :Mixture of clay and Al2O3

| Firing Temp C. | Content of clay % | Content of burning clay % | Content of Al2O3 % | Bulk density | Porosity % | Water absorption % | Compressive strength kg/cm2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 50 | 15 | 35 | 1.3 | 49.95 | 38.4 | - |
| | 50 | 25 | 25 | 1.34 | 46.88 | 34.94 | - |
| | 50 | 35 | 15 | 1.37 | 44 | 32 | - |
| 1000 | 50 | 15 | 35 | 1.24 | 50.1 | 40.55 | - |
| | 50 | 25 | 25 | 1.33 | 48.7 | 36.66 | - |
| | 50 | 35 | 15 | 1.3 | 49.95 | 38.4 | - |
| 1100 | 50 | 15 | 35 | 1.23 | 47 | 38 | - |
| | 50 | 25 | 25 | 1.27 | 44.6 | 35 | - |
| | 50 | 35 | 15 | 1.32 | 43.4 | 32.78 | 18.4 |
| | | | | | | | |
| 1200 | 50 | 15 | 35 | 1.24 | 49.8 | 40 | |
| | 50 | 25 | 25 | 1.25 | 47.7 | 38 | 1.22 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.37 | 47 | 34 | 6.14 |
| | | | | | | | |
| 1250 | 50 | 15 | 35 | 1.4 | 47 | 33.8 | 0.737 |
| | 50 | 25 | 25 | 1.44 | 44.4 | 30.8 | 2.22 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.43 | 40 | 28 | 9.2 |

## Table (3) :Mixture of clay and Al(OH)3

| Firing Temp C. | Content of clay % | Content of burning clay % | Content of Al(OH)3 % | Bulk density | Porosity % | Water absorption % | Compressive strength kg/cm2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 50 | 15 | 35 | - | - | - | - |
| | 50 | 25 | 25 | - | - | - | - |
| | 50 | 35 | 15 | 1.462 | 41.7 | 28.5 | - |
| 1000 | 50 | 15 | 35 | - | - | - | - |
| | 50 | 25 | 25 | - | - | - | - |
| | 50 | 35 | 15 | 1.36 | 49 | 35.98 | - |
| 1100 | 50 | 15 | 35 | - | - | - | - |
| | 50 | 25 | 25 | 1.3 | 46.79 | 35.92 | 12.28 |
| | 50 | 35 | 15 | - | - | - | - |
| | | | | | | | |
| 1200 | 50 | 15 | 35 | 1.33 | 50.7 | 37.9 | 1.2 |
| | 50 | 25 | 25 | 1.34 | 47.73 | 35.52 | 2.4 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.34 | 43 | 32 | 0.6 |
| | | | | | | | |
| 1300 | 50 | 15 | 35 | 1.2 | 44 | 37.4 | 2.4 |
| | 50 | 25 | 25 | 2.2 | 13.8 | 6.2 | 0.7 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.4 | 38.8 | 27.9 | 0.4 |

## Table (4) :Mixture of clay and AlF3

| Firing Temp C. | Content of clay % | Content of burn-ing clay % | Content of Al(F)3 % | Bulk density | Porosity % | Water ab-sorption % | Compressive strength kg/cm2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 50 | 15 | 35 | 1.05 | 60 | 56.7 | 12.28 |
| | 50 | 25 | 25 | 1.22 | 53 | 43.4 | 18.43 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.4 | 46 | 33.3 | 18.43 |
| 1000 | 50 | 15 | 35 | 0.97 | 62.6 | 64.6 | 36.86 |
| | 50 | 25 | 25 | 1.14 | 53.5 | 46.97 | 61.44 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.35 | 46.9 | 34.46 | 63.9 |
| 1100 | 50 | 15 | 35 | 0.89 | 60.37 | 67.36 | 33.8 |
| | 50 | 25 | 25 | 1.1 | 53.3 | 48.7 | 43 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.27 | 46.5 | 36 | 49 |
| 1200 | 50 | 15 | 35 | o.933 | 63 | 67 | 32 |
| 1200 | 50 | 15 | 35 | 1.15 | 55 | 47.68 | 64.5 |
| | 50 | 25 | 25 | 1.4 | 50.32 | 36 | 43 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1250 | 50 | 15 | 35 | 1.13 | 55.2 | 48.8 | 22.1 |
| | 50 | 25 | 25 | 1.37 | 46.3 | 33.64 | 43 |
| | 50 | 35 | 15 | 1.4 | 36 | 25.73 | 43 |

## Table (5): Mixture of clay and AlF3

| Firing Temp C. | Content of clay % | Content of burn-ing clay % | Content of Al(F)3 % | Bulk density | Porosity % | Water ab-sorption % | Compressive strength kg/cm2 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 60 | --- | 40 | 1.01 | 60 | 59 | 30.7 |
| | 50 | --- | 50 | 0.9 | 66.5 | 74 | 18.4 |
| | | | | | | | |
| 1000 | 60 | --- | 40 | 0.84 | 64.3 | 76 | 55.3 |
| | 50 | --- | 50 | 0.69 | 63.7 | 92.3 | 24.5 |
| | | | | | | | |
| 1100 | 60 | --- | 40 | 0.88 | 63.3 | 71.2 | 37.8 |
| | 50 | --- | 50 | 0.83 | 66 | 79 | 14.7 |
| | | | | | | | |
| 1200 | 60 | --- | 40 | 0.83 | 62.8 | 75.3 | 30.8 |
| | 50 | --- | 50 | 0.67 | 62.5 | 92.8 | 30.7 |
| 1250 | 60 | --- | 40 | 0.96 | 58.3 | 60.5 | 32 |
| | 50 | --- | 50 | 0.83 | 63.4 | 76.3 | 18.4 |

**Table 6 : Thermal properties of Al2O3 mixture**

| Firing Temp. C | Content of clay | Content of burning clay % | Content of Al2O3 | Thermal conductivity kcal/mhc | Heat storage capacity kcal/c.m3 | Heat diffusivity m2/h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 50 | 15 | 35 | 0.326 | 260 | 0.00125 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.34 | 268 | 0.00126 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.35 | 274 | 0.00126 |
| 1000 | 50 | 15 | 35 | 0.32 | 248 | 0.00129 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.345 | 256 | 0.001297 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.36 | 280 | 0.001285 |
| 1100 | 50 | 15 | 35 | 0.31 | 246 | 0.00126 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.325 | 254 | 0.001279 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.333 | 264 | 0.001261 |
| 1200 | 50 | 15 | 35 | 0.33 | 248 | 0.00129 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.322 | 250 | 0.001288 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.35 | 274 | 0.00127 |
| 1250 | 50 | 15 | 35 | 0.36 | 280 | 0.001285 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.367 | 288 | 0.001274 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.366 | 286 | 0.001279 |

**Table 7 : Thermal properties of Al(OH)3 mixture**

| Firing Temp. C | Content of clay % | Content of burning clay | Content of Al(OH)3 % | Thermal conductivity kcal/m.h.c | Heat storage capacity kcal/c.m3 | Heat diffusivity m2/h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 50 | 15 | 35 | ---- | --- | --- |
| | 50 | 25 | 25 | ---- | --- | --- |
| | 50 | 35 | 15 | 0.38 | 292.4 | 0.00129 |
| 1000 | 50 | 15 | 35 | --- | --- | --- |
| | 50 | 25 | 25 | --- | --- | --- |
| | 50 | 35 | 15 | 0.348 | 272 | 0.001279 |
| 1100 | 50 | 15 | 35 | --- | --- | --- |
| | 50 | 25 | 25 | 0.326 | 260 | 0.001253 |
| | 50 | 35 | 15 | --- | --- | --- |
| 1200 | 50 | 15 | 35 | 0.345 | 266 | 0.001297 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.3459 | 268 | 0.00129 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.3459 | 268 | 0.00129 |
| 1300 | 50 | 15 | 35 | 0.3057 | 240 | 0.001273 |
| | 50 | 25 | 25 | ---- | --- | --- |
| | 50 | 35 | 15 | 0.36 | 280 | 0.001285 |

**Table 8: Thermal properties of AlF3 mixture**

| Firing Temp. C | Content of clay % | Content of burning clay | Content of AlF3 % | Thermal conductivity kcal/m.h.c | Heat storage capacity kcal/c.m3 | Heat diffusivity m2/h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 50 | 15 | 35 | 0.235 | 194 | 0.001283 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.285 | 228 | 0.00125 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.3425 | 270 | 0.001268 |
| 1000 | 50 | 15 | 35 | 0.255 | 210 | 0.001214 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.308 | 244 | 0.001262 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.36 | 280 | 0.001285 |
| 1100 | 50 | 15 | 35 | 0.22 | 179.2 | 0.001227 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.275 | 220 | 0.00125 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.325 | 254 | 0.001279 |
| 1200 | 50 | 15 | 35 | 0.225 | 186.6 | 0.001205 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.295 | 230 | 0.001282 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.36 | 280 | 0.001285 |
| 1300 | 50 | 15 | 35 | 0.285 | 226 | 0.001261 |
| | 50 | 25 | 25 | 0.35 | 274 | 0.001277 |
| | 50 | 35 | 15 | 0.36 | 280 | 0.001285 |

**Table 9: Thermal properties of AlF3 mixture without burning clay**

| Firing Temp. C | Content of clay % | Content of burning clay | Content of AlF3 % | Thermal conductivity kcal/m.h.c | Heat storage capacity kcal/c.m3 | Heat diffusivity m2/h |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 900 | 60 | | 40 | 0.25 | | |
| | 50 | | 50 | 0.221 | | |
| | | | | | | |
| 1000 | 60 | | 40 | 0.195 | | |
| | 50 | | 50 | 0.1575 | | |
| | | | | | | |
| 1100 | 60 | | 40 | 0.215 | | |
| | 50 | | 50 | 0.2 | | |
| | | | | | | |
| 1200 | 60 | | 40 | 0.2 | | |
| | 50 | | 50 | 0.15 | | |
| | 50 | | | | | |
| 1250 | 60 | | 40 | 0.1573 | | |
| | 50 | | 50 | 0.2 | | |

**Table 10: Specifications of some building materials**

| Material | Bulk density kg/m3 | Specific heat kcal/m.h.c | Thermal conductivity kcal/m.h.c | Heat storage capacity kcal/c.m3 | Heat diffusivity m2/h |
|---|---|---|---|---|---|
| Light weight refractory | 670 | 0.2 | 0.15 | 134 | 0.0011194 |
| Light weight brick | 900 | 0.2 | 0.32 | 180 | 0.00122 |
| Heavy brick | 1500 | 0.2 | 0.5 | 300 | 0.00167 |
| Thermostone | 800 | 0.22 | 0.23 | 176 | 0.00131 |
| Heavy concrete | 2300 | 0.2 | 1.75 | 460 | 0.0038 |
| Styropore | 20 | 0.33 | 0.03 | 6.6 | 0.00455 |

| 0 | -5 |
|---|---|
| 100 | 0.3 |
| 500 | 2 |
| 580 | 0 |
| 900 | -0.15 |
| 1050 | 2.8 |
| 1100 | -3.2 |

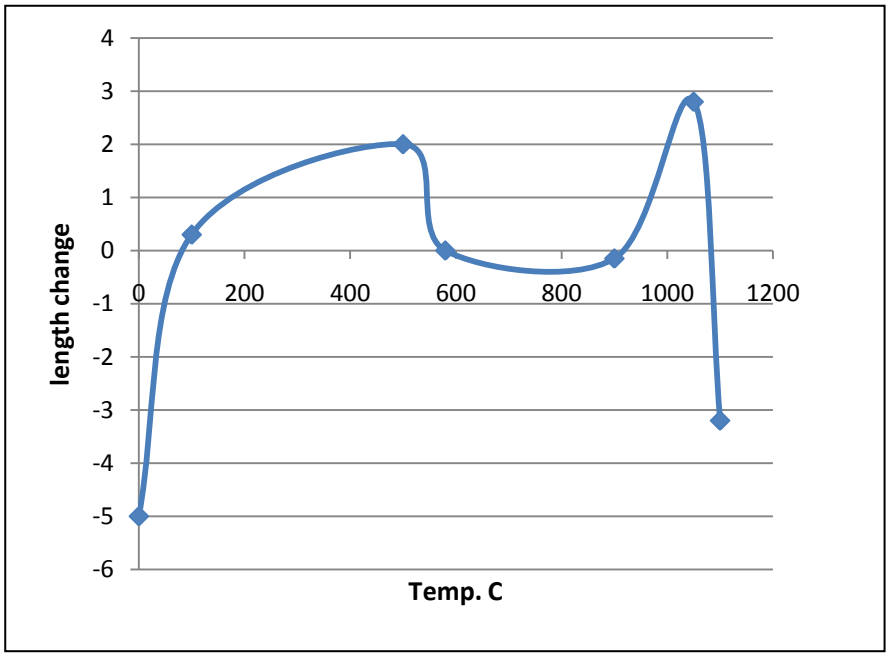


**Fig. 1: relationship between length change % and temperature**

| | |
|---|---|
| 800 | 0.8 |
| 900 | 1.05 |
| 1000 | 1 |
| 1100 | 0.8 |
| 1200 | 0.93 |
| 1300 | 1.12 |

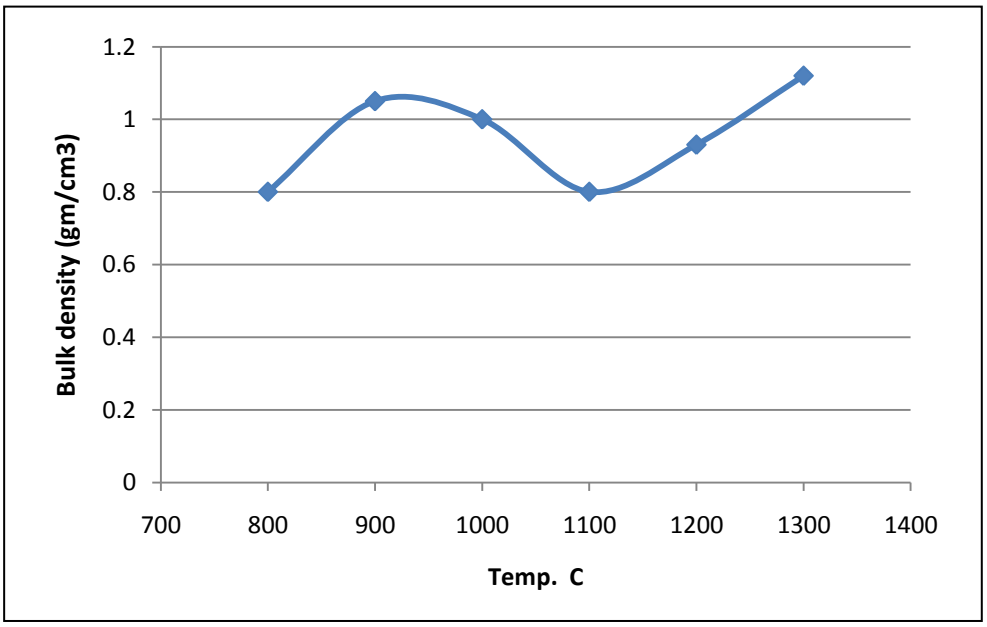


**Fig .2: relationship between bulk density temperature**

| 800 | 50 |
|---|---|
| 900 | 60 |
| 1000 | 62.5 |
| 1100 | 60.5 |
| 1250 | 55 |

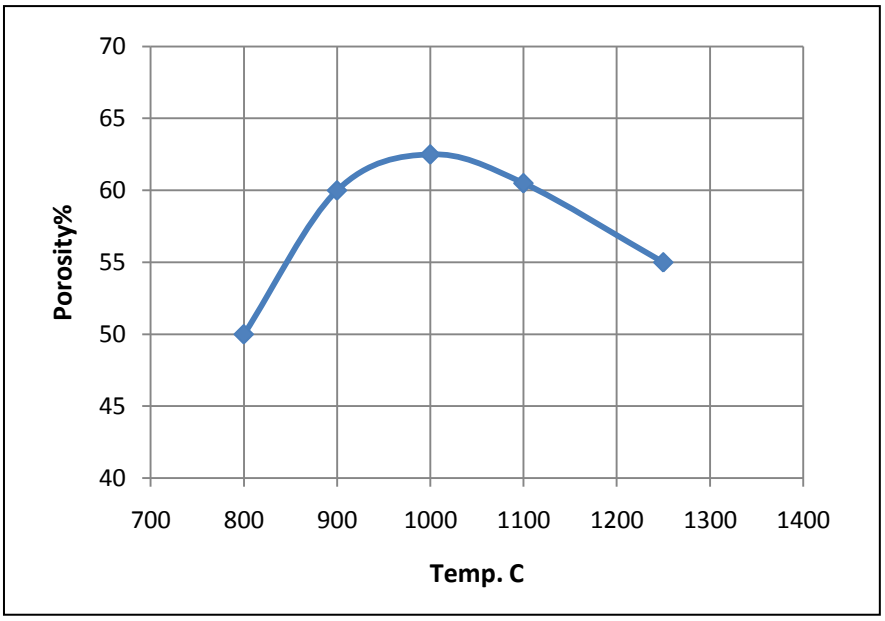


**Fig.3: relationship between Porosity % temperature**

| 800 | 10 |
|---|---|
| 900 | 12.2 |
| 1000 | 36.6 |
| 1100 | 34 |
| 1200 | 32.6 |
| 1300 | 23 |

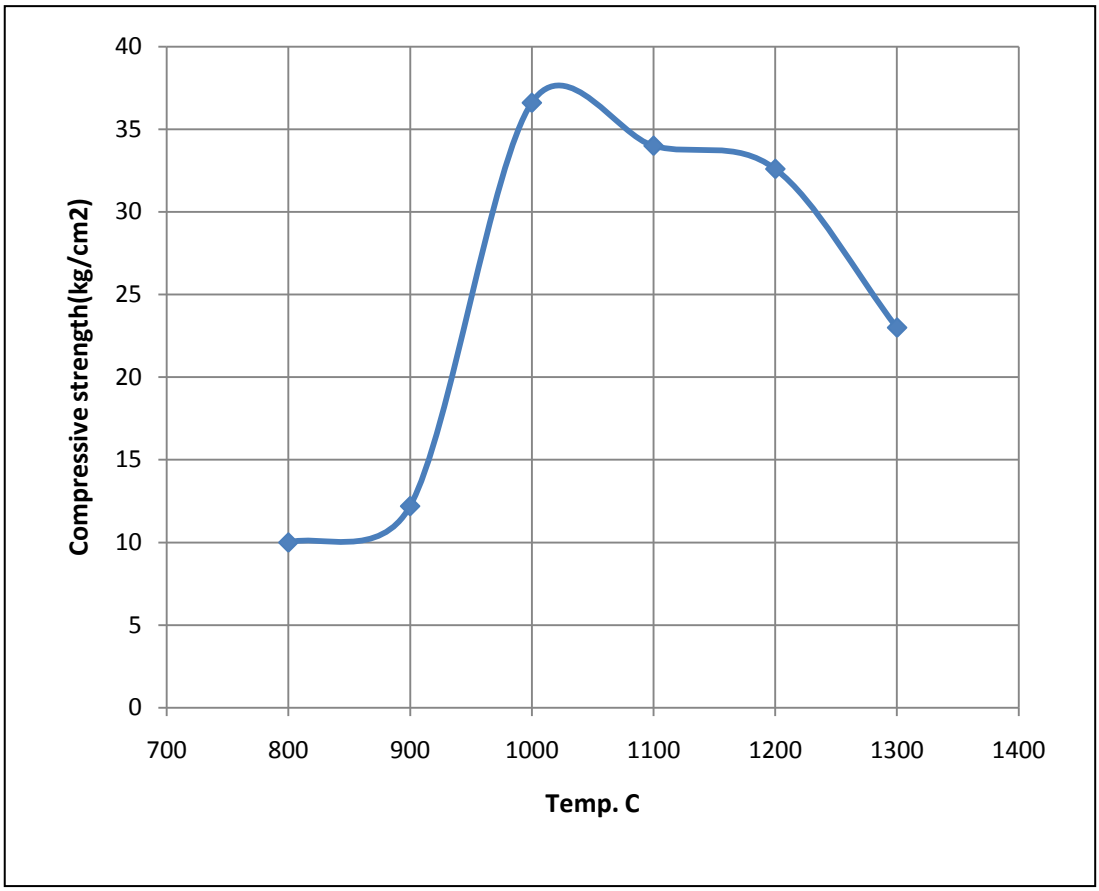


**Fig.4: relationship between Compressive strength kg/cm2 temperature**

| 500 | 0 |
|---|---|
| 700 | 0.15 |
| 840 | 0.2 |
| 1200 | 0.3 |
| 1500 | 0.4 |

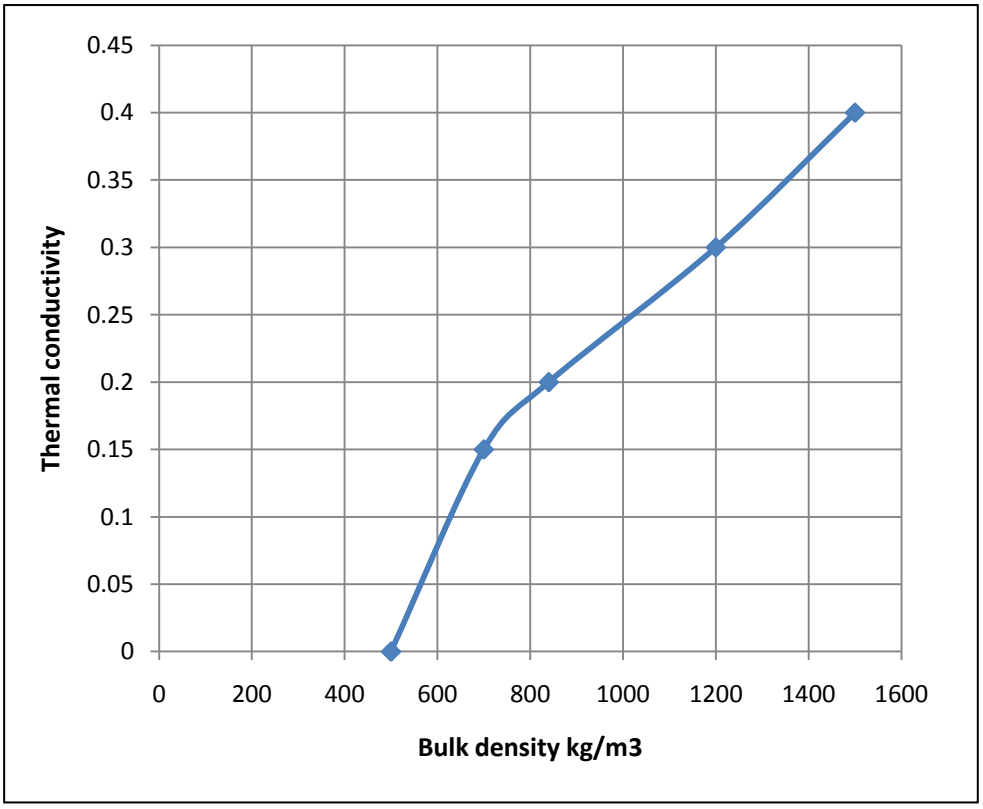


**Fig.5: Correlation graph for light weight refractory**

| 0 | 20 | 16 |
|---|---|---|
| | | |
| 1.8 | 24 | |
| 2 | | 17 |
| 3 | 27 | 18 |
| 4.5 | | 21 |
| 6 | 36 | 25 |
| 7 | 38 | |
| 7.6 | | 30 |

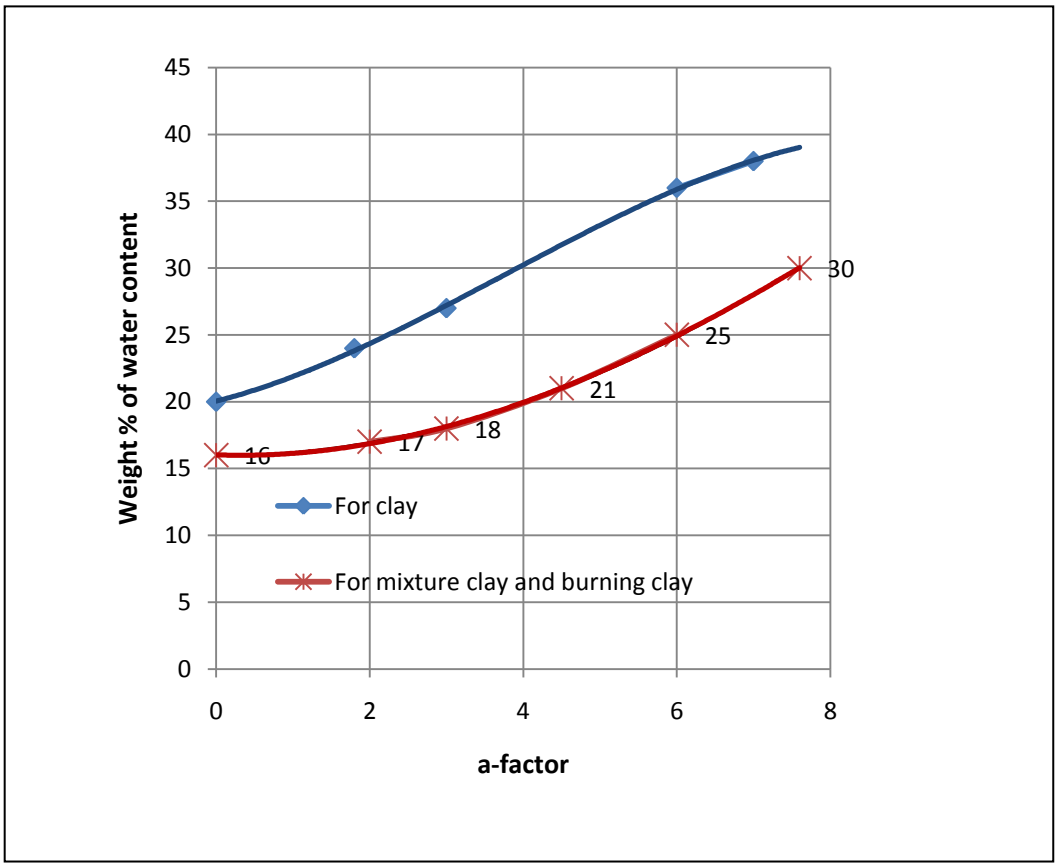


**Fig.6: relationship between weight % of water content and a- factor**

**الاسم : عبدالكريم دهش عفات الزبيدي**

**العنوان الوظيفي : استاذ مساعد**

**موقع العمل :استاذ في كلية الهندسة /جامعة النهرين – بغداد**

**التحصيل الدراسي : ماجستير هندسة كيماوي (وحدات صناعية) في الجامعة التكنولوجيا**

**بغداد/1983**