خواص محسنة لمنتج سيراميكي من المواد المحلية

المهندسة مياسة ملحم* الدكتور أسامة ميرو**

الملخص

من العوامل المهمة التي يُركز عليها حديثاً لتطوير نظم وشروط استثمار الأبنية السكنية والصناعية وغيرها، هو تحقيق العزل الحراري والهيدروليكي بدءاً من الأقبية حتى السقوف الأخيرة، ولذلك توجه هذا العمل إلى محاولة الحصول على منتج سيراميكي أكثر فاعلية لجهة العزل الحراري، يتصف بمسامية عالية ومصنع من مواد محلية، وذلك بإحدى الطرائق المعروفة وهي إضافة المواد القابلة للاحتراق كلياً والأفضل منها المواد التي تخلق المسامات ثم تحترق. وقد استخدمت إضافات (نواتج الصناعات) ذات قيمة معدومة نسبياً لأنه لا يعاد استخدامها أو الاستفادة منها صناعياً، مثل قشور القمح وغبار قص الخشب. وتم التوصل إلى أن نسب الإضافات التي تحافظ على متانة المنتج وتبقيه ضمن الحدود المسموح بها يجب أن لا تزيد على 11%، وعند تلك النسبة ينخفض كل من الوزن الحجمي بنسبة % 20 أي لقيمة$1.62gr/cm^3$والناقلية الحرارية بنسبة 30%.

يمكن رفع نسبة الإضافات في المنتج السيراميكي المصمت حتى 20% مع الحفاظ على شروط المتانة وذلك بإضافة محلول قلوي بنسبة 1.5%، وبذلك ينخفض الوزن الحجمي ليصبح $1.3gr/cm^3$ والناقلية الحرارية تصبح 0.38 واط/م.درجة، كما يمكن إحداث فراغات بينية في المنتج النهائي بواسطة القالب، وعندها يتم الحصول على منتج سيراميكي مفرغ من الخلطات السيراميكة ذات الإضافات 11% بوزن حجمي $1.134gr/cm^3$، وناقلية حرارية 0.29 واط/م.درجة.

* أعد هذا البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندسة مياسة ملحم بإشراف الدكتور أسامة ميرو - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

** أستاذ قسم هندسة النقل والمواصلات - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

1- مقدمة البحث:

نظراً إلى التطور وازدياد الطلب والحاجة إلى مواد العزل (حراري وهيدروليكي) بدءاً من أقبية المباني وصعوداً وخاصة الجدران الخارجية والسقوف وبالخصوص السقوف الأخيرة من المباني السكنية والصناعية وغيرها إدارية مدارس جامعات - .....الخ

توجه التركيز في هذا العمل إلى محاولة تحسين خواص منتج سيراميكي ليكون أكثر فاعلية من جهة العزل الحراري وذلك نظراً إلى أن المنتجات المحلية (الإسكان العسكري معامل حمص حماة القطاع الخاص والعام) تملك خواص العزل ولكن ليس بالصورة الكافية وخاصة أن هناك إمكانية لتحسينها.

2 - هدف البحث:

هدف البحث هو الحصول على منتج سيراميكي يستخدم في أغراض البناء والإنشاء بمسامية عالية ذي وزن حجمي حول $1000\ kg/m^3$ مصنع من مواد أولية محلية، يتميز بخواص - فيزيائية، ميكانيكية، وعزل حراري - أفضل.

إذ من المعروف أن تحسين خواص العزل يتم بإحدى الطرائق المعروفة ومنها إضافة المواد القابلة للاحتراق كلياً والأفضل المواد التي تشكل المسامات ثم تحترق[1],[2].

3 أنواع المواد السيراميكية:

يندرج تحت مادة السيراميك كثير من المنتجات التي تحيط بنا ويمكن تصنيفها ضمن أربع مجموعات رئيسة:

- مواد البناء والإنشاء **Structural** : القرميد، الأنابيب، بلاطات السقوف والأرضيات والجدران.
- المواد المقاومة للصهر **Refractories**: مثل بطانة الأفران، Gas Fire Radiant، بوتقة صناعة الغاز والفولاذ.
- الأدوات البيضاء **White ware**: متضمنة أدوات الطعام، عناصر الديكور، الأدوات الصحية.
- السيراميك التقني أو الهندسي أو المتقدم **Technical**: تُستخدم في space program shuttle برامج المكوك الفضائي، فوهات احتراق الغازات، حماية خاصة بالمقذوفات، قنابل أوكسيد أورانيوم الوقود النووي، ريش مراوح توربينات المحركات النافثة، مخروط مقدمة الصاروخ.

4 مراحل صناعة السيراميك:

تنقسم صناعة أغلب المنتجات السيراميكية ضمن مرحلتين هما[3]:

أ **إنتاج الجسم السيراميكي**: تتضمن هذه المرحلة تصنيع الجسم السيراميكي (البسكوتة) فيُشكل الجسم الأخضر (الجاف فقط)، ومن ثم يشوى أو لا يشوى قبل تطبيق الطلاء (الجليز) حسب نوع المنتج.

ب **إنتاج الطلاء (الجليز)**: يتضمن تصنيع طلاءات التزجيج (المينا) التي تُطلى أو تُدهن بها البلاطة وتسمى الجليز Glaze. تطبق طلاءات التزجيج على وجه البلاطة فتكسبه التصميم واللون وطبيعة السطح.

5 - المواد الأولية المستخدمة لتصنيع السيراميك:

يمكن أن نصنف المواد الأولية التي تدخل في صناعة السيراميك كما يأتي[4]:

5-1 المكونات اللدنة: تمنح الجسم قبل شويه خواص اللدونة المناسبة لتشكيله بالشكل المرغوب به. أهم مثال عن هذه المكونات هو الغضاريات.

5-2 المكونات الخاملة (فاقدة النشاط الكيميائي): تشكل هذه المكونات ما يمكن تسميته هيكل الجسم السيراميكي قبل الشي، إذ إن وجود هذه المواد يقلل

من اللدونة والتقلص خلال مرحلتي التجفيف و الشي. لا يمكن عَدُّ هذه المواد خاملة كيميائيا بالمطلق إذ إنه خلال مرحلة الشي وعند الدرجات الحرارية العالية تكون فعالة في التبادل الكيميائي الذي يحصل في الجسم السيراميكي، مثال على هذه المواد السيليكا، التالك، البيروفيليت.

(Pyrophyllite $AlSi_2O_5OH$ Aluminium Silicate Hydroxide).

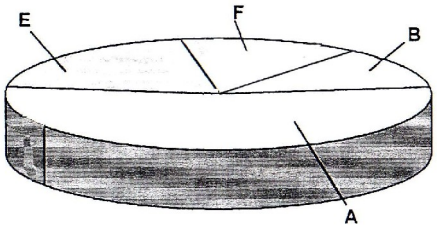
5-3 - المواد الصهارة: تساعد هذه المواد في تخفيض درجات الحرارة اللازمة لصهر بعض مكونات الجسم السيراميكي وإذابتها. تنشط التفاعلات في الطور الصلب وتدعم تشكل المنتج السيراميكي، مثال عنها: الكربونات، الفلدسبارات، وولاستونايت Wollastonite ($CaSiO_3$ calcium inosilicate) والنيفلين Nepheline ($Na_3KAl_4Si_4O_{16}$ silica-undersaturated aluminosilicate).

5-4 الإضافات: تضاف هذه المكونات لتعطي الجسم خواصّ محددة تسهل من مراحل عملية تصنيع الجسم السيراميكي. قد تكون هذه المواد عضوية أو غير عضوية.

5-5 الشوائب الضارة: هي مواد غير مرغوب بها في الجسم تسبب تأثيرات غير ملائمة من جهة عملية التصنيع أو من ناحية خواص ومواصفات المنتج النهائي. الشائبة الملوثة الأكثر وجوداً هي البيريت (FeS_2).

6 - التراكيب المستخدمة في تصنيع الجسم السيراميكي:

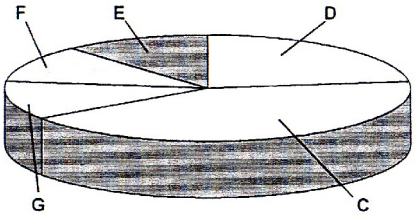
إن تحديد خلطة الجسم السيراميكي هو مرحلة غاية في الأهمية من عملية تصنيع السيراميك حيث ينفرد كل معمل بالخلطة الخاصة به والتي توصل لها نتيجة لعديد من الاختبارات والتجارب وباستخدام مواد أولية وإضافات مختلفة. كما أن نسب المواد الداخلة في خلطات المنتجات السيراميكية تتبع لنوع المنتج المراد تصنيعه. ونبيّن فيما يلي بعض نماذج التراكيب المستخدمة عالمياً والتي تتغير تبعاً لنوع المنتج السيراميكي المطلوب كما هو مبيّن في (الأشكال رقم 1-a, 1-b, 1-c) [5]:



الشكل 1-a: التراكيب المستخدمة في تركيب السيراميك ذي الجسم الأحمر -أحادي الشي

A هو غضار من نوع Carbonatic تتراوح نسبته من 50% إلى 60% - E هو رمل فلدسباتي تتراوح نسبته من 20% إلى 30%

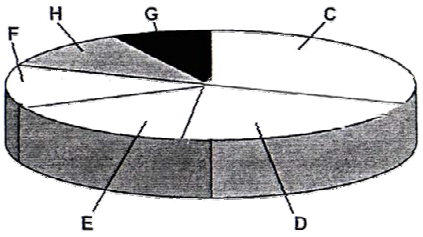
B هو غضار من نوع Vitrifiable تتراوح نسبته من 10% إلى 20% - F هو كوارتز تتراوح نسبته من 10% إلى 15%



الشكل 1-b: التراكيب المستخدمة في تركيب السيراميك ذي الجسم الأبيض - أحادي الشي

C هو Ball Clay غضار بولكلاي تتراوح نسبته من 30% إلى 40% - F هو كوارتز تتراوح نسبته من 10% إلى 15%

E هو رمل فلدسباتي تتراوح نسبته من 10% إلى 20% - G هو كالسيت تتراوح نسبته من 7% إلى 10%



الشكل c-1: التراكيب المستخدمة في تركيب السيراميك ذي الجسم الأبيض المسامي -أحادي الشي

C هو Ball Clay غضار بولكلاي تتراوح نسبته من 30% إلى 40%-E هو رمل فلدسباتي تتراوح نسبته من 10% إلى 15%

D هو كاولين China Clay تتراوح نسـ بته من 20% إلى 30%

- F هو فلدسبار تتراوح نسـبته من 5% إلى10%

H هو كوارتز تتراوح نسـ بته من 5% إلى 10 %

- G هو كالسيت تتراوح نسبته من 10% إلى 7%

7 - العمل التجريبي:

إن غاية العمل التجريبي هو الحصول على منتج سيراميكي ذي مواصفات عزل أعلى ومصنع من مواد أولية محلية متوافرة في سورية. وبات الآن من المعروف أنه كلما ازدادت نسبة الإضافات العضوية انخفضت الكثافة الوزن الحجمي وتحسنت الخواص الفيزيوحرارية للمنتج السيراميكي[6]. لكن وبعد حد معين من زيادة الإضافات تبدأ المتانة بالانخفاض، ولهذا وحفاظاً على الحد الأدنى ومافوق للمقاومات الذي تسمح به المواصفات الخاصة في المنتجات السيراميكية فإن إضافة بعض المواد تسمح بالمحافظة على المتانة مثل الإضافات الصهورة بودرة الفلكس كربونات الصوديوم والمسماة الصودا التقنية المتخصصة للأغراض الصناعية نواتج معالجة الألمنيوم للنقش والتذويب بالأحماض نواتج أعمال الطلي والتشكيل الغلفاني هذا إضافة إلى الحمأة الناتجة عن عمليات دباغة الجلود [7].

أُجري هذا العمل التجريبي حسب المواصفة الأمريكية**ASTM C212** [8] وذلك بفرض بحث إمكانية الحصول على تخفيض أعظمي للوزن الحجمي للقرميد السيراميكي وذلك بطريقة استخدام الإضافات العضوية المحترقة كلياً المشكلة للمسامات.

7-1 المواد المستخدمة في العمل التجريبي:

إن المواد الأولية المستخدمة في صناعة السيراميك في سورية [9] هي الغضاريات السورية الرمل الكوارتزي مادة تريبولي فوسفات الصوديوم (وهي المادة الوحيدة المستوردة بالإضافة إلى مواد التزجيج). يوجد في سورية مواقع متنوعة ومختلفة للغضاريات التي تستخدم في صناعة السيراميك منها: غضار المخرم، مكيمن، التياس، الرخيمة، وادي الزكارى جديدة يابوس، كفير يابوس، تل شمارون، الجبة، دير العدس، تراخيت. اختيرت الغضاريات المستخدمة في هذا البحث من أربعة مواقع معروفة ومستخدمة بكثرة في المصانع السورية وهي: غضار المخرم، غضار وادي الزكارى، غضار كفير يابوس، غضار الجبة. كما استخدم في الخلطات رمل القريتين والفلدسبار الصودي. يبين الجدول 1 التركيب المنرالي للمواد الأولية المستخدمة في تجارب البحث.

الجدول 1: التركيب المنرالي للمواد الأولية المستخدمة في العمل التجريبي X –ray diffraction [9]

المواد الأولية	التحليل المنرالي Mineral Analysis
غضار المخرم	كوارتز - ايليت - مسكوفيت - كالسيت -كاؤولين هالوزيت - جبس - أوكسيد الحديد - ماءات الحديد - مونتموريللونيت
غضار الزكارى	كوارتز - ايليت - كاؤولين سمكتيت -أكسيد الحديد - كالسيت - فلدسبار بوتاسي - ماءات الحديد - عضويات - كلوريت
غضار كفير يابوس	كوارتز - كاؤولين -سمكتيت - فلدسبار بوتاسي - أكسيد الحديد - تيتانيوم
غضار الجبة	كوارتز - كاؤولين - ايليت - أورتوكلاز - مونتموريللونيت - حديد
رمل القريتين	كوارتز - كالسيت (أثار) - أكاسيد الحديد (أثار)

كما يبين الجدول 2 التركيب الكيميائي لتلك المواد.

الجدول 2: التركيب الكيميائي للمواد الأولية المستخدمة في الخلطة التجريبية [9]

الموقع	وسطي التحليل الكيميائي									
	L.O.I	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	$CaCO_3$
غضار المخرم	16.5	45	17	5	11	2	2	1	0.3	17
غضار الزكارى	11.5	50	19.5	7.5	3	0.75	1.75	1.5	0.75	2
غضار كفير يابوس	9	69	14	4	0.75	0.75	0.75	0.5	0.75	0.75
غضار الجبة	8.6	51.5	20	10	1	3.75	2.6	0.1	1.75	0.5
فلدسبار صودي	0.3	67.28	20.15	0.17	0.6	0.16	1.21	9.85	0.28	0
رمل القريتين	0.2	97.5	0.75	0.2	0.25	0.2	0.5	0.5	0.2	0.01

2-7 مراحل العمل التجريبي:

المرحلة الأولى (الخلطة باستخدام الإضافات العضوية):

1) تحديد نوع الإضافات المستخدمة:

هناك عديد من البقايا العضوية التي تنتج في مجال الصناعة والزراعة [10] نذكر منها:

1- قشور الحنطة (القمح الأسود الشعير الشوفان بقايا بزر الزيتون -أي حبوب مشابهة) وقشور بعض الخضروات الأخرى مما لا تأكله الحيوانات.

2- غبار قص الخشب.

3- نشارة الخشب.

وقد اكتفينا في بحثنا هذا باستخدام قشور القمح وغبار قص الخشب كإضافات بديلة عن كمية من الغضاريات اللازمة لتشكيل الجسم السيراميكي.

2) تحديد المكونات الأولية للخلطة:

بعد الاطلاع على عدد من الخلطات السيراميكية التي تستخدمها المصانع السورية وبعض المصانع العربية، وبالعودة إلى الفقرة رقم 6 (تركيب الجسم المسامي)[5] نجد أن الجسم السيراميكي يتكون من الغضاريات بشكل رئيسي (النسبة العظمى) ومن ثم الكوارتز والفلدسبار بنسب متقاربة وبعض المواد الأخرى بنسب ضئيلة.

3) تحضير الخلطات:

- ضُبطت كميات وأوزان الأجزاء المكونة لخلطة المواد الأولية، ومن ثم جُففت وطُحنت بالمطحنة المخبرية مع إضافة ماء بنسبة 40% مدة ربع ساعة. وقد حُضرت خلطة المعايرة (رقم1) من المواد والنسب الآتية:

غضاريات بنسبة 90% (المخرم 16%، كفير يابوس 53% ، زكارى 10.5%، الجبة 10.5%).

رمل القريتين 5%

فلدسبار صودي 5%

- حُضّرت الخلطات الجديدة باستبدال الغضاريات بالإضافات وزناً بنسب من 1% حتى 20% وبخطوة 1% لكل خلطة، يبيّن الجدول 3 نسب المواد المشكلة لتراكيب بعض الخلطات التجريبية:

الجدول3: نسب المواد المكونة لبعض الخلطات التجريبية مع الإضافات

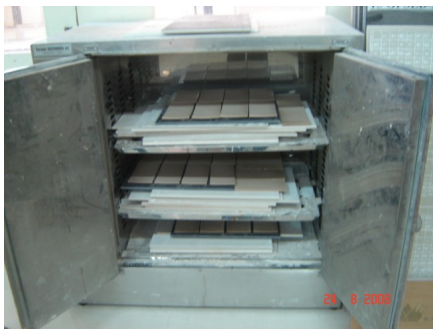
المواد الأولية المستخدمة في خلطة العينات السيراميكية	نسب المواد المكونة للخلطة لبعض العينات (وزناً)				
	خلطة المعايرة رقم 1	الخلطة رقم 5	الخلطة رقم 10	الخلطة رقم 15	الخلطة رقم 20
غضار المخرم	**16**	15	14	13	12.5
غضار كفير يابوس	**53**	50	47	44	41
غضار زكارى	**10.5**	10	9	9	8
غضار الجبة	**10.5**	10	10	9	8.5
رمل القريتين	**5**	5	5	5	5
فلدسبار صودي	**5**	5	5	5	5
قشور القمح الناعمة	**0**	2.5	5	7.5	10
قشور القمح الخشنة	**0**	1.5	3	4.5	6
غبار قص الخشب	**0**	1	2	3	4

- حفظت عينات المزيج مدة 48 ساعة في وعاء محكم الإغلاق لتأمين توزع الرطوبة بشكل منتظم ومتساوٍ ضمن كامل حجم المواد المكونة للخلطة، وبعد ذلك جففت العينات وطُحنت ناعماً.

4) تشكيل العينات:

حُضرتْ عينات بأبعاد 0.5 cm *10* 20، ووضعت بعدها في مجفف حتى درجة رطوبة متبقية % (4-6) وحُددَ وزنها، ومن ثم شويت في الفرن الكهربائي المخبري بدرجة حرارة C 1130 مدة 40 دقيقة.

الشكل 2: تحضير العينات بطريقة المكبس الهيدروليكي



الشكل 3: العينات في فرن التجفيف

الشكل 4: عينات من الخلطات بعد الشي في الفرن

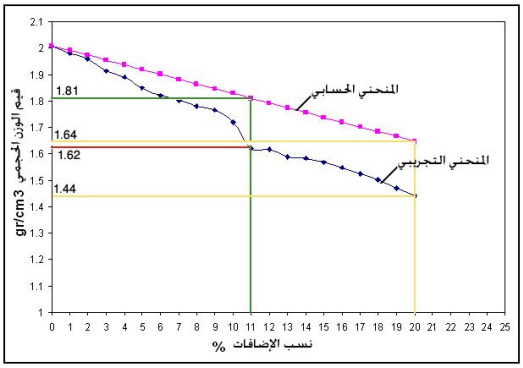
5) نتائج اختبار العينات:

أجريت تجارب واختبارات تحديد الخواص الفيزيوميكانيكية الرئيسية للعينات المشوية وفقاً للمواصفة **ASTM C67** [11] منها الوزن الحجمي، مقاومة الشد على الانعطاف، ويبيّن الجدول 4 نتائج الاختبارات على بعض العينات التجريبية:

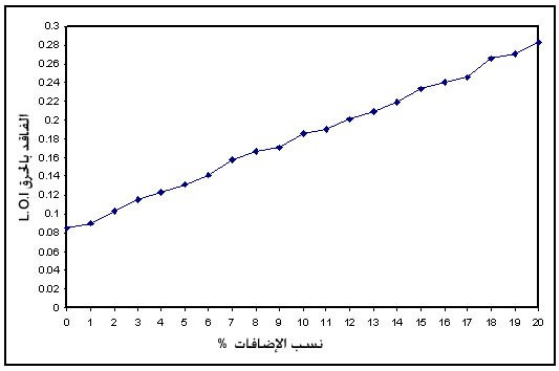
الجدول 4: نتائج التجارب المنفذة على العينات التجريبية

رقم العينة	وسطي العينات من الخلطة رقم 1		وسطي العينات من الخلطة رقم 5		وسطي العينات من الخلطة رقم 10		وسطي العينات من الخلطة رقم 15		وسطي العينات من الخلطة رقم 20	
حالة العينة	الخضراء (قبل الشي)	المشوية	الخضراء (قبل الشي)	المشوية	الخضراء (قبل الشي)	المشوية	الخضراء (قبل الشي)	المشوية	الخضراء (قبل الشي)	المشوية
وزن العينة gr	218.65	201.78	209.3	185	204	172	193.6	157	185.1	144.26
نسبة الفاقد من الوزن نتيجة الشي (%)	8.3		13		18		23		28.5	
اختبار الشد على الانعطاف MPa		8.305		8.19		8.08		4.48		3.36
القوة الكاسرة kg		7.69		7.59		7.49		4.15		3.12

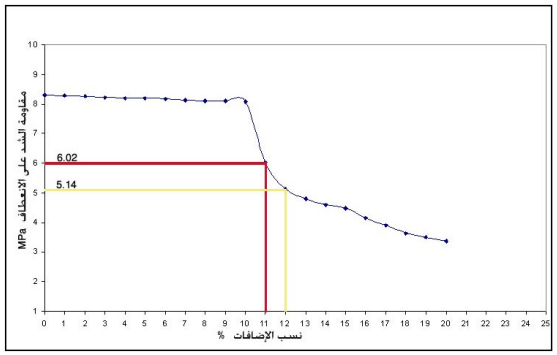
يبيّن الشكل **5** قيم الوزن الحجمي تجريبياً وحسابياً (وذلك باعتبار أن نسبة النقصان في الوزن يجب أن تكون مساوية لنسبة الإضافات البديلة عن الغضاريات إذ إن كامل كمية الإضافات احترقت). يعود الاختلاف بين القيم الحسابية والتجريبية إلى التغير البنيوي والمنرالي الذي يحدث بشكل لا يمكن تحديده رياضياً نتيجة وجود الإضافات العضوية واحتراقها مسببة تشوهات (تشققات وانتفاخات) غير منتظمة ضمن الجسم السيراميكي. من ثم حُسِبت نسبة الفاقد في الوزن نتيجة الشي كما في الشكل **6**، أما الشكل **7** فيوضح العلاقة بين نسب الإضافات العضوية على العينات التجريبية وبين قيم مقاومة الشد على الانعطاف.



الشكل 5: تغير قيم الوزن الحجمي مع تغير نسب الإضافات للخلطة المعيارية



الشكل 6: تغير نسب L.O.I. مع تغير نسب الإضافات



الشكل 7: تغير قيم مقاومة الشد على الانعطاف مع تغير نسب الإضافات للخلطة

6) تحليل نتائج المرحلة الأولى:

بالاعتماد على المواصفة **ASTM-C410** [12] فإن الحد الأدنى لمقاومة الشد على الانعطاف لمنتج سيراميكي هو 5.2 MPa وبالعودة إلى القيم التي تم الحصول عليها وفق **ASTM-C67** المبينة في الشكل **7** نلاحظ أنها تبقى محققة حتى نسبة إضافات 11% من وزن الغضار المستخدم ضمن الخلطة التجريبية وهذا ما تؤكده طبيعة العينات التي تم الحصول عليها حيث يوضح الشكل 4 أنه فوق النسبة 11% بدأ ظهور التشققات والانتفاخات مما يعني فقدان متانة المنتج. تنخفض قيمة الوزن الحجمي الموافقة لنسبة إضافات 11% كما يوضح الشكل 5 إلى $1.62\ gr/cm^3$، أي حدث انخفاض في قيمة الوزن الحجمي بنسبة 20% نتيجة وجود الإضافات. أمَّا بالنسبة إلى العزل الحراري فقد تم قياس النقل الحراري λ بواسطة العلاقة التجريبية التقريبية [13] :

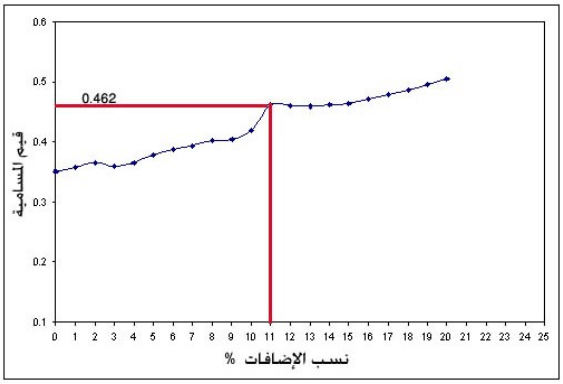
$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{1-P}{1+n*P^2} \qquad (1)$$

λ - الناقلية الحرارية (واط/ م. درجة).

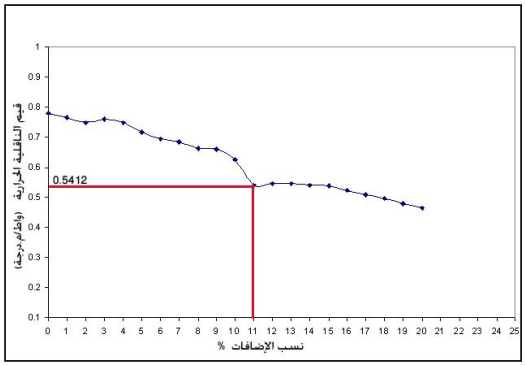
λ_o الناقلية الحرارية للجسم السيراميكي دون مسامات حددت قيمته تجريبياً 1.65 واط/م.درجة [14].

n ثابت حدت قيمته تجريبياً **3** [14] .

P مسامية العينة (%) وتحدد حسابياً بعد تحديد قيم كل من الوزن الحجمي والوزن النوعي وذلك وفقاً للمواصفات **ASTM C67**.



الشكل 8: تغير قيم المسامية مع تغير نسب الإضافات للخلطة



الشكل 9: تغير قيم الناقلية الحرارية مع تغير نسب الإضافات للخلطة

توضح المعادلة (1) العلاقة المباشرة بين مسامية المنتج السيراميكي وبين ناقليته الحرارية، وتؤكد أن زيادة مسامية المنتج تؤدي إلى نقصان قيم الناقلية الحرارية له، وانطلاقاً من هذه العلاقة وبالاعتماد على قيم المسامية للعينات التجريبية (مع الإضافات) المبينة في **الشكل 8** التي حُسبت بعد تحديد كل من وزنها النوعي ووزنها الحجمي، والتي نلاحظ ازديادها بشكل طردي مع ازدياد نسب الإضافات، حُسبت قيم الناقلية الحرارية التي تتناقص بازدياد نسب الإضافات كما يوضح **الشكل 9**. كما نلاحظ أنه عند نسبة الإضافة التي توصلنا لها (11%)، تكون قيمة الناقلية الحرارية 0.5412 واط/ م. درجة، وبالأخذ بالحسبان أن قيم الناقلية الحرارية للمنتج السيراميكي تتراوح بين 0.8 إلى 1.1 واط/م.درجة وفق المواصفات المعروفة [15] نجد أن قيمة الناقلية الحرارية قد نقصت عن الحد الأدنى بنسبة تزيد على 30%.

لكي نتمكن من زيادة العازلية الحرارية للجسم السيراميكي فلا بد من زيادة نسبة المسامات الموجودة ضمن المنتج وجُرّب ذلك وفق منحيين تجريبيين:

المرحلة الثانية - المنحى التجريبي الأول هو استخدام محلول قلوي ضمن الخلطة السيراميكية مع الإضافات يرفع من مقاومة الشد على الانعطاف حتى نسب عالية من الإضافات (نسبة تزيد على 11% التي تم التوصل لها في المرحلة الأولى).

المرحلة الثالثة المنحى التجريبي الثاني هو إحداث تفريغ بنيي (بواسطة القالب) عند نسبة الإضافات نفسها التي توصلنا لها في المرحلة الأولى (11%) ومن ثمَّ تزيد قيمة المسامية الكلية للمنتج وتزيد فاعليته في العزل.

7) المرحلة الثانية - المنحى التجريبي الأول (الخلطة باستخدام الإضافات العضوية والمحلول القلوي):

إن أهم العوامل التي تؤدي إلى زيادة قيمة المسامية البنيوية هو زيادة نسب الإضافات العضوية المحترقة، ولكي نستطيع استخدام إضافات بنسبة أكبر من 11% مع الحفاظ على متانة المنتج ومقاومته استخدم المحلول القلوي الآتي:

كلور الصوديوم 15%

قلوي كاو حار Free Caustic Alkaline 1.2%

صودا حامض الكربونيك الحرة Free Carbon Dioxide Soda 1.5%

أحماض دهنية لا تزيد على **1%**

ماء بنسبة **81.3%**

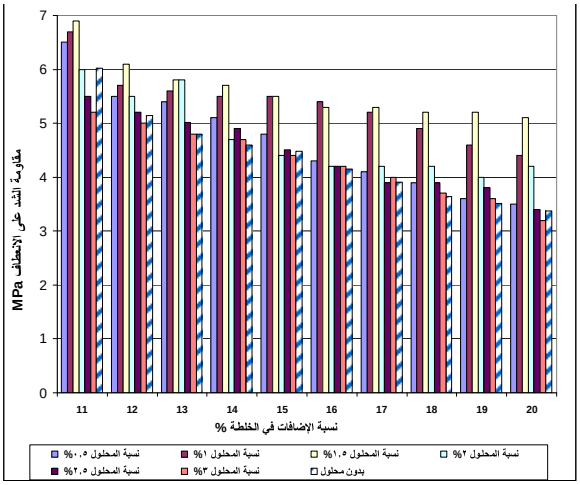
هذا المحلول مستخدم في كثير من الصناعات (والذي ينتج عن صناعة بعض أنواع الصابون وغيرها من الصناعات) [7]. أضيف هذا المحلول إلى الخلطة واتبعت

الخطوات التجريبية نفسها المتبعة في المرحلة الأولى، ولكن تم البدء من نسب إضافات تزيد على 11% حتى 20% بخطوة 1% ولكل نسبة من الإضافات تجرَّب ست نسب من المحلول القلوي بدءاً من 0.5% حتى 3% من وزن الغضار وبخطوة 0.5%. بعد ذلك حددت الخواص الفيزيائية والميكانيكية والاختبارات على العينات وفق ASTM C67.

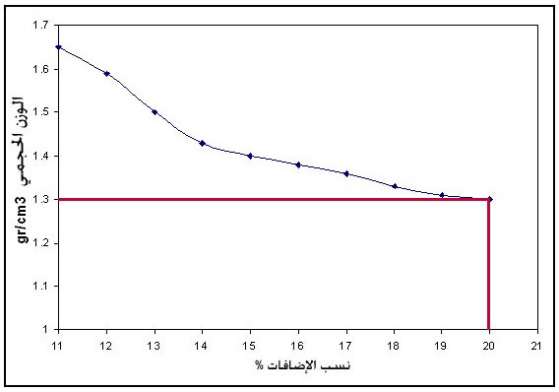
يبيّن الشكل 10 أن نسبة 1.5% من المحلول القلوي هي النسبة المثلى للاستخدام في الخلطة التجريبية من الغضاريات والإضافات العضوية لأنها تحافظ على الحد الأدنى من المقاومة حتى نسبة 20% من الإضافات.

تحليل نتائج المرحلة الثانية:

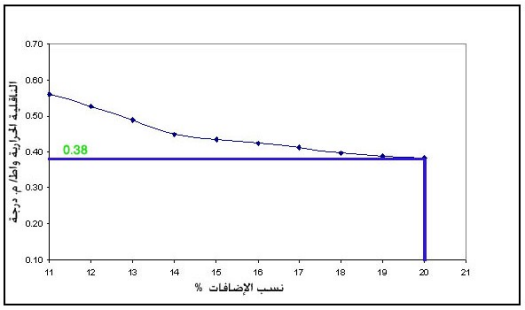
إن وجود شوارد الصوديوم في الغضار يكسبه خواصّ فيزيائية مختلفة عن تلك التي تخلقها شوارد الكالسيوم. إذ إنَّ وجود شوارد الكالسيوم يسبب انجذاب ذرات الغضار بعضها لبعض وتشكل تلك الذرات فيما بينها بنية مفتوحة ومن ثمَّ يحتاج الغضار عندها كمية أكبر من الماء للوصول إلى لدونته المثالية ومن ثمَّ يسبب نقصاناً في مقاومة الشد على الانعطاف (متانة المنتج) ونقصاناً في قيمة الوزن الحجمي والعكس صحيح بالنسبة إلى شوارد الصوديوم[16]. نلاحظ بالعودة إلى الغضاريات المستخدمة في التجربة أنها تحتوي كيميائياً على أكاسيد الكالسيوم بنسبة أكبر من أكسيد الصوديوم ولتغيير الخواص الفيزيائية لتلك الغضاريات تم اختيار المحلول القلوي الصودي. نلاحظ انعكاس وجود المحلول على مقاومة الشد على الانعطاف حيث أنه عند استخدامه بنسبة 1.5% تزيد قيمة المقاومة من 3.37MPa إلى 5.1MPa على الرغم من استخدام الإضافات العضوية بنسبة 20% **(وزناً)** كما يبيّن الشكل 10. ومن ثم انخفضت قيمة الوزن الحجمي إلى 1300 kg/cm^3 كما يبيّن الشكل 11 ونتيجة لذلك حدث انخفاض للناقلية الحرارية من **0.5412 واط/ م. درجة** إلى **0.38 واط/ م.درجة** كما يبيّن الشكل 12.



الشكل 10: تغير قيم مقاومة الشد على الانعطاف تبعاً لتغير نسبة المحلول القلوي عند كل نسبة من الإضافات العضوية



الشكل 11: تغير قيم الوزن الحجمي مع تغير نسب الإضافات واستخدام 1.5% من المحلول القلوي



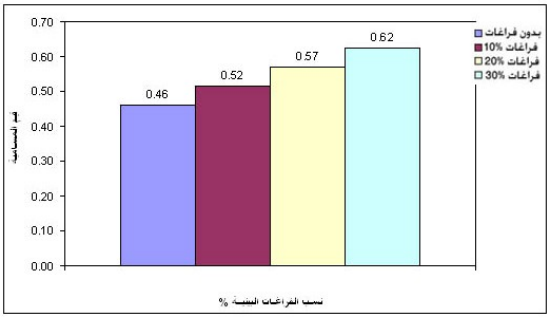
الشكل 12: تغير قيم الناقلية الحرارية مع تغير نسب الإضافات واستخدام 1.5% من المحلول القلوي

8) المرحلة الثالثة -المنحى التجريبي الثاني (الخلطة باستخدام الإضافات العضوية والتفريغ البيني):

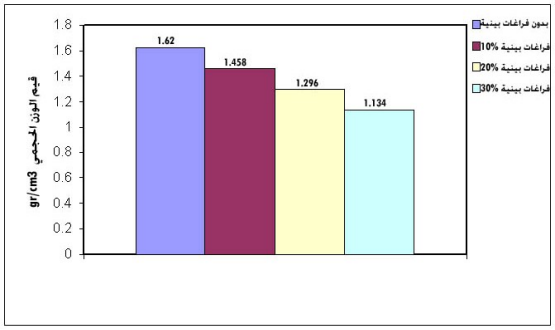
يمكن الحصول على قيم مسامية أعلى ومن ثـمَّ رفـع فاعلية العزل للمنتج الـسيراميكي وتخفيـف وزنـه الحجمي وذلك باللجوء إلى التفريغ البيني للمنتج نفسه ولذلك أُحدثت فراغات بينية بنسب ثلاث 10% 20% 30%، وفق المواصفة ASTM C212 [8] وذلك تبعـاً للوظيفة الإنشائية مستقبلاً، واتبعت الخطوات التجريبية نفسها المتبعة في المرحلة الأولى، بعد أن ثبتنا نـسبة الإضافات التي توصلنا لها وهي 11% (وزناً). ومـن ثم حُدِّدت الخواص الفيزيائية والميكانيكية والاختبارات على العينات وفق ASTM C67.

تحليل نتائج المرحلة الثالثة:

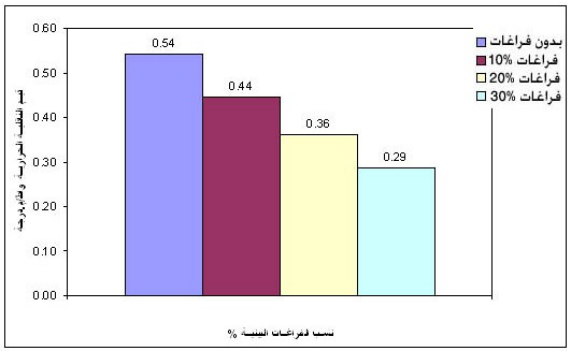
يبين الشكل **13** زيادة واضحة في قيم المسامية إذ تزيد نسبة الفراغات الكلية (البينية والبنيوية) علـى 50% يرافقها انخفاض في قيم الوزن الحجمي ليـصل إلـى $1.134gr/cm^3$ كما يبين الشكل **14** أي إنه انخفـض بنسبة 44% عن الوزن الحجمي الأولي دون إضافات ودون فراغات بينية ($2.01gr/cm^3$). وبسبب العلاقـة المباشرة بين قيم المسامية وقيم الناقلية الحرارية فـإن ازدياد المسامية يعكس انخفاضاً ملحوظاً علـى قـيم الناقلية الحرارية إذ أسهم وجود الهواء داخل المسامات وفي الفراغات البينية بانخفاض كبير في قيمتها حيـث نقصت الناقلية الحرارية من **0.5412 واط/ م. درجـة** **إلى 0.29 واط/م.درجة** كما يبين الشكل **15** أي إنها انخفضت بنسبة 47%.



الشكل 13: تغير قيم المسامية مع تغير نسب الفراغات البينية المحدثة بواسطة القالب وذلك لنسب إضافات 11% من وزن الغضار المستخدم للخلطة



الشكل 14: تغير قيم الوزن الحجمي مع تغير نسب الفراغات البينية المحدثة بواسطة القالب وذلك لنسب إضافات 11% من وزن الغضار المستخدم للخلطة



الشكل 15: تغير قيم الناقلية الحرارية مع تغير نسب الفراغات البينية المحدثة بواسطة القالب وذلك لنسب إضافات 11% من وزن الغضار المستخدم للخلطة

لاشك أن قيم العزل الحـراري للـصوف الـصخري والفوم بولي يوريثان التي تتميز بقيم λ أقل من 0.032

تخدم الهدف بشكل أفضل كعزل لكن لا يمكن توظيفها في أماكن ذات أغراض إنشائية على عكس المنتج السيراميكي مع الإضافات موضوع هذا البحث وإن وظفت لأغراض إنشائية فإنها ستحتاج حكماً وبالضرورة إلى اقترانها وتوظيفها مع مادة أخرى تحملها أو تحميها أو تستقبل الحمولات بدلاً عنها وهنا تبرز أهمية تحسين خواص العزل للمنتج السيراميكي مع محاولة الحفاظ على المقاومات المطلوبة للأغراض الإنشائية.

8 - النتائج والتوصيات:

1- إن طبيعة ألياف المواد العضوية لا تخلق مشاكل في أثناء استخدامها لتشكيل منتجات سيراميكية.

2- إن النسبة العظمى من الإضافات العضوية التي يسمح بوجودها ضمن المنتج السيراميكي المصمت والتي تبقيه ضمن الحدود المسموحة للمقاومات هي **11%** وزناً والتي بدورها تؤدي إلى تخفيف الوزن الحجمي بنسبة 20% أي إلى قيمة $1.62gr/cm^3$، وإلى رفع فاعلية العزل الحراري بنسبة تزيد على 30%.

3- يمكن زيادة نسبة الإضافات العضوية ضمن المنتج السيراميكي المصمت حتى 20% وزناً وذلك باستخدام محلول قلوي بنسبة 1.5% وعندها ينخفض الوزن الحجمي بنسبة 36% أي إلى قيمة $1.3gr/cm^3$، وتنخفض الناقلية الحرارية بنسبة تزيد على 50%.

4- يمكن زيادة العزل الحراري والحصول على منتج بوزن حجمي أقل من الخلطات السيراميكة ذات الإضافات 11%، وذلك بإحداث فراغات بينية في المنتج النهائي بواسطة القالب، إذ حتى نسبة فراغات بينية 30%، انخفض كل من الوزن الحجمي بنسبة 44% أي إلى قيمة $1.134gr/cm^3$ والناقلية الحرارية بنسبة 47%.

5- يمكن المتابعة ببحوث لاحقة لتحديد بقية الخواص الفيزيائية للمنتج السيراميكي المصنع من الغضاريات المحلية وبنسبة إضافات 11%، منها درجة امتصاصية الماء، المقاومة على للضغط، ....الخ.

المراجع

[1] P. Wouter, Energy Performance of Building: Assessment of Innovative Technologies, ENPER-TEBUC, Final Report, 2004.

[2] EN 832:1998—Thermal Performance of Buildings—Calculation of Energy Use for Heating—Residential Buildings, CEN, Brussels, Belgium, 1998.

(3) الخامات والمواد الأولية للسيراميك وخواصها الفيزيقية الكيماوية الميكانيكية، المؤتمر الثاني لصناعة السيراميك في الوطن العربي 1997

[4] W.RYAN, C.RADFORD, *White wares Production, Testing and Quality Control*, Institute of Ceramics, 1987, Pg. 1-22.

[5] ACIMAC, *Raw Materials Preparation and Forming of Ceramic Tiles*, Pg.58– 60.

[6] M. Dondi, M. Marsigli, B. Fabbri, Recycling of industrial and urban wastes in brick production, Tile and Brick International 13 (3) (1997) 218 –225.

[7] Shroff JJ. Sodium chlorite and its application in the textile industry. Ahmedabad, India: Research and Development Department, the Arvind Mills Ltd.; 2002.

[8] ASTM Standards. ASTM C 212, *Standard Methods for Structural Clay Facing Tile.*

(9)الشركة الوطنية السورية لتصنيع الخزف.

[10] V. Ducman, T. Kopar, The influence of different waste additions to clay– product mixtures, Materials and Technology 41 (6) (2007) 289–293.

[11] ASTM Standards. ASTM C 67, *Standard Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile.*

[12] ASTM C410: Standard Specification for Industrial Floor Brick

[13] Aivazov MI, Domashnev IA. Influence of porosity on the conductivity of hot pressed titanium nitride specimens. *Poroshkovaya Metallurgiya (Soviet P/M and Metal Ceramics)*. 1968; 8(9):51-54.

[14] Sugawara A, Yoshizawa. An Experimental Investigation on the Thermal Conductivity of Consolidated Porous Materials. *Journal of Applied Physics*. 1962; 33(10):3135-3138.

[15] M. Kormann and CTTB (Technical Centre of Roof tiles Bricks), Clay bricks and roof tiles, manufacturing and properties, *Société de l'industrie minérale*, Paris (2007) ISBN: 2-9517765-6-x.

[16] W.RYAN, C.RADFORD, *White wares Production, Testing and Quality Control*, Institute of Ceramics, 1987, Pg. 184-186.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2010/6/6.