دراسة إمكانية استخدام الرماد مع الغضار في تصنيع السيراميك

د.م. إبراهيم حمود*

الملخص

هدف البحث: إن استخدام الرماد في صناعة السيراميك هو عمل بيئي يسهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية، ويساعد في التخلص من النفايات، ويعدُّ خطوة اقتصادية هامة لأنه يخفف من تكاليف صناعة السيراميك إذ إنَّه لا يحتاج إلى عمليات تصنيع مثل الطحن أو السحق.

من هنا كان هدف البحث دراسة إمكانية استعمال الرماد، الناتج عن مختلف أنواع الصناعات، بوصفه مادةً أوليةً في صناعة السيراميك المستخدم لتغطية الجدران والأرضيات.

طرائق البحث : اعتمد البحث على الطرائق التجريبية المخبرية لاستخدام الغضار والرماد (بنسب مدروسة مخبرياً)، كمواد أولية للحصول على الخلطة اللازمة في عملية تصنيع سيراميك الأرضيات والجدران. ومن ثمّ تم اختبار كل من المقاومة على الكسر ونسبة امتصاص الماء على العينات المشكلة من هذا الخليط وقارنا نتائج هذه الاختبارات بالمتطلبات العالمية لهذه الصناعة.

النتائج : في هذا البحث تمّ التوصل إلى تحديد النسب الملائمة لمكونات الخلطة اللازمة لصناعة السيراميك مع تحديد المعايير والبيانات التي تساعد في نقل هذه التكنولوجيا إلى الواقع الصناعي التجاري.

الكلمات المفتاحية: جيوتكنيك - غضار – سيراميك.

* مدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية – جامعة دمشق.

1 - مقدمة البحث:

يشهد العالم تغييراً نحو البناء الأجمل والأكثر ديمومة. لذلك فقد تغيّر اتجاه العمل من العمل المتكرر الأرخص شكلاً والأقل جمالاً إلى البناء بتفاصيل أصغر وأجمل والانتباه لمواطن الجمال التي تؤمنها صناعة مواد البناء الحديثة ولاسيَّما السيراميك الحديث الذي يتميّز بخواص فيزيوميكانيكية عالية وديمومة مرتفعة.

لمّا كانت المواد الأولية اللازمة لتصنيع بلاط السيراميك هي مرحلة ذات كلفة عالية ضمن خط إنتاج السيراميك فإن استبدال جزء من هذه المواد بمواد ذات كلف اقتصادية أقل من جهة، وتخفف التلوث البيئي من جهة أخرى، يلاقي اهتماماً كبيراً عند أصحاب مصانع السيراميك، وكذلك عند الدول التي تهدف للوصول إلى مصانع خضراء "TomAllnutt, 2007". من هنا فإن استخدام الرماد المتطاير (ذو الكلف المنخفضة نسبياً) لإنتاج السيراميك سوف يخفض كلفة تصنيع بلاط السيراميك، كما أنه سيخفض وبشكل جوهري التأثيرات البيئية السلبية للرماد المتولدة بتسربه للهواء.

أصبحت عملية التخلص من النفايات من ابرز المشكلات التي تواجه المدن والتجمعات البشرية نظراً إلى ما تشكله هذه النفايات من أخطار على البيئة ومواردها الطبيعية وعلى صحة الإنسان وسلامته.

2 - هدف البحث:

هدف البحث هو استعمال الرماد الناتج عن مختلف أنواع الصناعات في صناعة بلاط السيراميك المستخدمة للجدران، والأرضيات.

إن إمكانية استخدام الرماد كمادة أولية بديلة عن إحدى المواد الأولية المستخدمة في صناعة السيراميك ممكن بسبب وجوده على شكل بودرة ناعمة وهذا ما يجعله مناسباً للتصنيع بدون الحاجة إلى طحن أو سحق لكي نصغر حجم الجزيئات، ويعدُّ هذا العمل خطوة اقتصادية مهمة من ناحية تخفيض كلف المواد الأولية المستخدمة لتلك الصناعة. كما أن تركيبه الكيميائي يمكّن من استخدامه كمادة أولية أساسية في هذه الصناعة. أضف إلى ذلك أن استخدام الرماد في صناعة السيراميك هو عمل بيئي يسهم في الحفاظ على الموارد الطبيعية، ويساعد في التخلص من النفايات خاصة وأنه صنف ضمن قائمة النفايات الخطرة في سورية (بحسب نظام إدارة النفايات الخطرة في الجمهورية العربية السورية).

من أجل تحقيق الهدف المرجو من البحث، نُفِّذتْ دراسة عملية، للوصول إلى بلاط سيراميكي يحتوي على الرماد من ضمن مكوناته.

في البداية حددت نسب المكونات اللازم إضافتها، بعد ذلك أُجريت اختبارات من أجل تحديد مواصفات المنتج المحضر بهذه الطريقة وصولاً إلى اقتراح الخطوات اللازمة لنقل العمل التجريبي إلى واقع التصنيع للتوصل إلى مركب يلبي المتطلبات التجارية لبلاط السيراميك.

وعليه، ومن خلال العمل التجريبي حصلنا على معظم المعايير والبيانات اللازمة لنقل هذه التكنولوجيا إلى الواقع الصناعي التجاري.

3 – مراحل تصنيع السيراميك:

تمر صناعة السيراميك بمرحلتين داخل المصنع نفسه، وكل مرحلة هي عملية تقنية قائمة بذاتها وخاماتها، وتختلف بنسب المواد الداخلة فيها عن الأخرى.

المرحلة الأولى: هي مرحلة تصنيع الجسم السيراميكي حيث يتم إنتاج بلاطة مشكلة بالأبعاد الخضراء (جافة فقط) ويطلق لفظ خضراء على الجسم غير المحروق ولكن تم تجفيفه فقط وهذه المرحلة لها خامات وطرائق تجهيز للخامات تختلف عن طرائق تجهيز المرحلة الثانية.

المرحلة الثانية: هي مرحلة تصنيع طلاءات التزجيج (المينا) التي تُطلى أو تدهن بها البلاطة وتسمى الجليز Glaze. طلاءات التزجيج هي الطبقة الخارجية لوجه البلاطة التي تعطي الذوق واللون والسطح الأملس للبلاطة وتكنولوجيا صناعتها وخاماتها تختلف عن صناعة الجسم نفسه.

4 – مفاهيم في طرائق التصنيع:

طريقة الضغط الجاف Dry-Pressing:

تحتوي خلطة المواد الأولية التي تنفذ بهذه الطريقة على 5% ماء (تؤخذ نسبة من الوزن الجاف). وبعد خلطها تضغط بين سطحين معدنيين ويتشكل الجسم الأخضر. وبسبب جفاف هذا المزيج فإن بلاط الأرضيات والجدران الذي ينتج بهذه الطريقة يكون ذا سطح مستوٍ، ومن ثم يُشوى ويُطلى بالجليز.

طريقة الضغط الرطب Wet -Pressing:

في هذه الطريقة تحتوي خلطة المواد الأولية على كمية ماء بنسبة تراوح بين 22% و28% (تؤخذ نسبة من الوزن الجاف) ويكون قوام المادة الناتجة لدناً (مثل المعجون).

طريقة الإنتاج هذه تتميّز بنسب إنتاج عالية. تمزج المواد الأولية مع الماء، ومن ثم يبثق المزيج ليتم الحصول على كتلة مفرغة من الهواء، حيث يضغط المزيج بين سطحين معدنيين (مستوية أو بواسطة اسطوانات دائرية) حيث يكون ضمنها قوالب من الجبصين مسامية وقوية. وبعد ذلك مباشرة يضغط هواء عبر قوالب المسامية لبثق البلاطة، ومن ثم تجفف البلاطة وتشوى ثم تطلى بالجليز.

قولبة المزيج Slip Casting:

نقصد بالمزيج SLIP: أنه المزيج الطيني المائي الذي يحتوي على جزيئات الغضار معلقة به. يُشكَّلُ المنتج بواسطة قوالب جاهزة Cast. تحتوي خلطة المواد الأولية على كمية ماء بنسبة 40% أو أكثر من الوزن الجاف. من العوامل المهمة لنجاح إنتاج هذه الطريقة: كثافة المزيج، ولزوجة المزيج، وانسيابية المزيج، وكذلك لدونة القالب ومدى انكماشه. ولكي نبقي المزيج المعلق مستقراً نستخدم إضافات مثل كربونات الباريوم إذْ إنَّ زمن الإضافة ونوع المواد المستعملة وكميتها، وزمن ودرجة حرارة المزج، كل هذه العوامل مهمة في الحصول على مواصفات ملائمة للـــ slip casting. وبعد ذلك يسكب المزيج في القالب الجبصي المسامي الذي يساعد في التخلص من الماء. بعد نزع المنتج من القالب، يجفف، ويشوى، وبعد ذلك يطلى بالجليز.

الاندماجية Sintering:

تعني اندماج الجزيئات عند درجات حرارة أقل من درجة الذوبان (1000–1200ºC). تشكل الاندماجية sintering روابط صلبة بين الجزيئات خلال مرحلة الشوي. هذه الروابط تقلل من طاقة السطح لأنها تقلل السطح الحر. في هذه العملية تهمل حدود الجزيئات وتتناقص مع نمو هذه الجزيئات وحجم المسامات ومن ثمَّ يزداد ارتصاص الكتلة. إن درجات الحرارة اللازمة لتحث وتسبب هذه الروابط تعتمد على خواص المواد والتحليل الحبي لتلك المواد.

تحدث الاندماجية في الحالة الصلبة بين الجزيئات في طور واحد أو عدة أطوار حيث يتشكل التجانس خلال sintering بين الأطوار الممزوجة، وتكّون منتجاً بطور واحد. من جهة أخرى، فإن الاندماجية في كثير من الحالات تتشكل في الطور السائل، ويعرف بأنه اندماج في طور سائل. ولمّا كان الرماد المتطاير هو مادة متعددة الأكاسيد، فإن التكثف يتحقق باندماج ذي طور سائل. تشكل السائل في عملية الاندماجية sintering يأتي

بشكل رئيسي من أكاسيد تشكل الزجاج الموجودة في الرماد. توجد في الرماد أكاسيد السيليكا والألومينا التي تمثل أكاسيد تشكل الزجاج. تفيد القلويات الموجودة في الرماد بتقليل درجة حرارة هذه العملية، حيث تميل السيليكات القلوية لتشـــكيل الزجاج بسهولة. بشكل عام تعرف الأكاســـيد القلوية بأنها (الشبكة المعدلة) "network modifiers.". إن الأيونات الموجبة وبتكافؤ أعلى من القلويات ربما تشارك أيضاً بالبنية الشبكية ويرمز لها بالوسائط "intermediates."، وغالباً يحتوي الرماد واحدة أو أكثر من هذه الوسائط.

5 – مكونات المواد السيراميكية:

يمكننا أن نصنف المواد التي تدخل في صناعة السيراميك ضمن عدة مجموعات كما يأتي:

5-1 المكونات اللدنة: هذه المكونات تمنح الجسم قبل الشوي خواص اللدونة المطلوبة لتشكيله بالشكل المطلوب. وتعدُّ المكون الرئيسي للجسم السيراميكي وتعطيه عناصر متعددة منها: الألمنيوم، السيليسيوم، الكالسيوم، الحديد، التيتانيوم، الخ.... وأهم مثال عن هذه المكونات هو الغضار.

يبيّن الجدول (1) التحليل الكيميائي لبعض أنواع الغضار المستخدمة في تصنيع السيراميك في العالم:

الجدول 1 : التركيب الكيميائي لبعض أنواع الغضار المستخدم في العالم

نوع الغضار	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	K_2O	Na_2O	L.O.I
China Clay	48	0.05	37	0.6	0.3	0.1	1.6	0.1	12.4
Black Ball Clay	48	0.8	31	1	0.5	0.2	1.8	0.9	15
Blue Ball Clay	52	0.9	32	1.3	0.5	0.3	3.1	0.4	9.5
Siliceous Ball Clay	74	1.5	15	0.8	0.5	0.1	1.6	0.9	5

2-5 **المكونات الخاملة (فاقدة النشاط الكيميائي)**: هذه المكونات تشكل بمنزلة هيكل الجسم السيراميكي قبل الشوي، إذْ إنَّ وجود مثل هذه المواد يقلل من اللدونة والتقلص خلال التجفيف أو الشوي. ولا يمكن عدُّ هذه المواد خاملة كيميائياً بالمطلق إذْ إنّه خلال مرحلة الشوي وعند الدرجات الحرارية العالية تكون هذه المكونات فعالة في التبادل الكيميائي الذي يحصل للجسم السيراميكي، وتزود الجسم بعناصر مثل: السيليسيوم، الكالسيوم، المغنزيوم. مثال عن هذه المواد السيليكا، التالك، البيروفيليت.

(Pyrophyllite $AlSi_2O_5OH$ Aluminium Silicate Hydroxide).

3-5 **المواد الصهارة**: هذه المواد تمنح خاصية تخفيض درجات الحرارة اللازمة لصهر بعض المكونات وإذابتها، إذْ إنَّها تنشط التفاعلات في الطور الصلب وتدعم تشكل المنتج السيراميكي. هذه المكونات تزود الجسم بعناصر منها: الصوديوم، البوتاسيوم، الألمنيوم، السيليسيوم. مثال عنها:

الكربونات، الفلدسبارات، وولاستونايت Wollastonite ($CaSiO_3$ calcium inosilicate)

النيفلين Nepheline ($Na_3KAl_4Si_4O_{16}$ silica-undersaturated aluminosilicate).

يبيّن الجدول (2) التحليل الكيميائي لبعض نماذج المواد الصهارة (المذيبات).

الجدول 2: التركيب الكيميائي لبعض أنواع المواد الصهارة المستخدمة عالمياً في تصنيع السيراميك

الأكاسيد	فلسبار %	Nepheline Syenite (Lakefield)%	Nepheline Syenite (North Cape) %
SiO_2	70 67	60.8	56.1
TiO_2	0.07 - 0.02	-	0.1
Al_2O_3	16.5 18.5	23.3	24.7
Fe_2O_3	0.1 0.3	0.07	0.08
MgO	0.03 - 0.15	0.1	-
CaO	0.3 - 0.5	0.6	0.75
K_2O	9.0 -11.0	4.5	9.2
Na_2O	2.5 - 3.3	10	8.1
Loss	0.4 - 0.7	0.6	0.75

4-5 **الإضافات**: تضاف هذه المكونات لتعطي الجسم خواصَّ محددة تسهل من مراحل عملية تصنيع الجسم السيراميكي. قد تكون هذه المواد عضوية أو غير عضوية. ومبيّن في الجدول (3) بعض أنواع هذه الإضافات.

الجدول 3 : بعض أنواع الإضافات المستخدمة

المادة	النوع	درجة حرارة الانصهار °C
سيليكا	حامضي	1710
أملاح الكاولين	حامضي	1770 (الكاولين الخام)
الألومينا	حامضي	2050
السيليت	متعادل	1810
الكرانيت	متعادل	3700
أوكسيد الكروم	متعادل	2430
الزركونيا	متعادل	2720
المغنيسيا	قاعدي	2800
أوكسيد الكالسيوم	قاعدي	2570
أوكسيد الباريوم	قاعدي	1920

5-5 **الشوائب الضارة**: وهي مواد غير مرغوب بها في الجسم ولكن لا يمكن التخلص منها من المواد الأولية اللازمة للجسم السيراميكي. تسبب هذه الملوثات تأثيرات غير ملائمة من ناحية عملية التصنيع أو من ناحية خواص المنتج النهائي ومواصفاته. الملوث الأكثر وجوداً هو البيريت (FeS_2).

6-المواد الأولية المستخدمة لتصنيع السيراميك في سورية:

بعد زيارات لأغلب مصانع السيراميك في سورية، توصلنا إلى أن المواد المستخدمة في صناعة السيراميك هي الغضار، والرمل الكوارتزي، وكسارة القرميد الناتجة من معامل القرميد، ومادة تريبولي فوسفات الصوديوم وهي المادة الوحيدة المستوردة فضلاً عن مواد التزجيج.

ولتحديد بنية هذه المواد قمنا باستخدام الطرائق الآتية:

- التحليل العناصري بالطريقة الرطبة.
- جهاز الأشعة السينية X Ray لتحديد نوعية الفلزات الصخرية.

ومن خلال دراسة هذه المواد وتحليلها بهذه الطرائق تم التوصل إلى ما يأتي:

1-6 الغضار:

قمنا بزيارة لعدة مواقع لمكامن الغضار في سورية وأُخذَتْ عينات لتحليلها بالأشعة السينية، وذلك لتحديد نوعية الغضار والعناصر المرافقة له (التحليل المنرالي). هذا التحليل قدم لنا النتائج المبيّنة في الجدول(4).

ونتيجة اختبارنا لأنواع الغضار بالطريقة الرطبة للتحليل العناصري من أجل تحديد مكوناتها من العناصر الأساسية، تبين أن الغضار المختبر يحتوي على العناصر الأساسية المبيّنة في الجدول (5).

2-6 الرمل

بيّنت دراستنا التي أجريناها على الرمل بالطريقة الرطبة للتحليل العناصري لبيان العناصر المكونة له، أنه يتكون بمعظمه من الكوارتز مع نسبة قليلة من الكلس وأكاسيد الحديد والعناصر الأخرى كما هو مبيّن في الجدول (6).

أمَّا التحليل الفلزي (المنرالي) لرمل القريتيتن فيبيّن أنه يتكون من:

رمل القريتين: كوارتز - كالسيت (أثار) - أكاسيد الحديد (أثار).

3-6 كسارة القرميد:

خلال الزيارة التي قمنا بها إلى هذا الموقع، تبين لنا أن هناك تجمعاً لبقايا بلوك القرميد المكسر.

ومن المعلوم أن الخلطة الأساسية لصناعة القرميد تتكون من 90% من غضار+10% رمل+45% مياه للعجن والترطيب.

إن التحليل العناصري بالطريقة الرطبة أظهر لنا أن العناصر المكونة لكسارة القرميد مطابقة للعناصر الداخلة

في تركيب الغضار باستثناء نسبة SiO_2 وهذا بسبب زيادة 10% من الرمل. مبيّن في الجدول (7) التحليل الكيميائي لكسارة القرميد.

7- الجليز وبطانة الجليز:

إن الجليز هو مادة زجاجية شفافة تصمم لتذوب على سطح بلاطة السيراميك، وتبقى ملتصقة على السطح عند التبريد. يحسن الجليز ديمومة السطح ويزيد من القيم الجمالية للبلاطة. وبينما يكون بلاط الجدران دائماً بجليز فإن بلاط الأرضيات والأرصفة يكون بعض الأحيان دون جليز. من المهم أن يكون التمدد الحراري للجليز مساوياً للتمدد الحراري لجسم السيراميك أو أكبر بقليل. من عيوب الجليز المتنوعة: التنوءات Crawling (بسبب الترطيب غير المناسب) Crazing، والتشققات السطحية (بسبب ارتفاع قيمة معامل التمدد الحراري للجليز) Shivering والتشظي (بسبب انخفاض قيمة معامل التمدد الحراري للجليز) pitting والندبات (بسبب وجود مواد متطايرة في الجسم). تؤدي بطانة الجليز دور الجليز نفسه من الناحيتين الوظيفية والجمالية، ولكن تختلف عن الجليز بأنها كتيمة (غير شفافة). وبذلك تحجب اللون الطبيعي للبلاطة مما يتيح تنوعاً كبيراً من التصاميم والديكورات للبلاطة.

8 – الرماد المتطاير FLY ASH:

مصادره: ينتج الرماد بكميات كبيرة من حرق الفحم الحجري وتختلف خواصه حسب مصدر الفحم

الحجري، درجة سحق الفحم الحجري قبل حرقه والنظام المستخدم لجمع هذا الرماد. وينتج أيضاً عن تقطير البترول، الصناعات الحديدية، وفي كثير من النفايات الناتجة عن الصناعات مثل صناعة الحديد (كالحالة التي درسناها في هذا البحث). كان الفحم الحجري في مرحلة ماضية المصدر الرئيسي للطاقة في البلدان الصناعية جميعها. وقد أنتجت المحركات العاملة بالبخار الناتج عن احتراق الفحم الحجري، معظم القدرة اللازمة لهذه البلدان منذ بداية القرن التاسع عشر حتى القرن العشرين. ومنذ بداية القرن العشرين، أصبح النفط والغاز الطبيعي المصدرين الرائدين للطاقة في معظم أرجاء العالم.

الجدول 4: التحليل المنرالي للغضار السوري المستخدم في تصنيع السيراميك

التحليل المنرالي Mineral Analysis	مكمن الغضار
كوارتز – إيليت – مسكوفيت – كالسيت – كاولوين هالوزيت – جبس – أوكسيد الحديد – ماءات الحديد – مونتموريللونيت	غضار المخرم
كوارتز إيليت مسكوفيت فلسبار بوتاسي كالسيت كاولوين هالوزيت كلوريت فلسبار صودي ماءات الحديد جبس كبريت	غضار مكيمين
كوارتز – إيليت – أوكسيد الحديد – كالسيت – مونتموريللونيت – كاولوين هالوزيت – فلسبار بوتاسي – جبس – مونتموريللونيت	غضار الكاولين
كوارتز إيليت مسكوفيت حديد جبس فلسبار بوتاسي ماءات الحديد كاولوين هالوزيت مونتموريللونيت كبريتات	غضار الوعيمة
كوارتز – إيليت – أوكسيد الحديد – ماءات الحديد – جبس – فلسبار بوتاسي – كاولوين هالوزيت – مونتموريللونيت	غضار مردان
كوارتز – إيليت – كاولوين مسكوفيت – أكسيد الحديد – كالسيت – فلسبار بوتاسي – ماءات الحديد – معدنيات – كلوريت	غضار الزكاري
كاولوين مسكوفيت – فلسبار بوتاسي – كوارتز – أكسيد الحديد – جبس – تيتانيوم – كبريتات – بيريت – أبيتيت	غضار جديدة يابرود
كوارتز – كاولوين – مسكوفيت – فلسبار بوتاسي – أكسيد الحديد – تيتانيوم	غضار كفر يابرود
كوارتز كلوريت تيرموتوليت أكسيد الحديد كبريتات	غضار تل شماريون
كوارتز – كاولوين – إيليت – أورثوكلاز – مونتموريللونيت – حديد	غضار قارة
كوارتز – إيليت – مسكوفيت – مونتموريللونيت – فلسبار بوتاسي – فلسبار صودي – كاولينيت – ميكا	غضار دير العصن
كلوريت – فلسبار بلاجيوكلازي – فلسبار بوتاسي – بيروكسين – كبريتات الحديد – فلسبار صودي – أوكسيد ماءات الحديد – أورثيت	غضار ثرنجيت الكفر – السويداء
مونتموريللونيت – الوريدات – كالسيت – كوارتز	مونتموريللونيت مصنوع
بوكسيت كاولينيت أوكسيد الحديد ماءات الحديد كوارتز كالسيت (آثار)	بوكسيت مكلون زبيدة

الجدول 5: التحليل الكيميائي للغضاريات السورية المستخدمة في تصنيع السيراميك

موقع الغضار	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 مكيمين	12	47	20	5.5	6	2	3	1	0.75	8
غضارالتياس	13	51	17	6	5.5	2.25	1.5	0.75	0.5	7
غضار الرخيمة	12	48	20	5.5	6.5	2.25	2.25	0.75	1	8.5
غضار مران	14	46	16	6.5	7	2	2.5	0.75	1	9
غضار الزكارى	11.5	50	19.5	7.5	3	0.75	1.75	1.5	0.75	2
غضار جديدة يابوس	14	50.5	21	6	1.75	1.5	1.5	1.25	1.75	1.5
غضار كفير يابوس	9	69	14	4	0.75	0.75	0.75	0.5	0.75	0.75
غضار تل شمارون	10	56	15	8.5	0.75	0.75	1.5	1.5	1	1.25
غضار الجبة	8.6	51.5	20	10	1	3.75	2.6	0.1	1.75	0.5
غضار دير العدس	11	57.5	17	7	2.5	1.5	0.7	1.75	1.5	1.5
غضار تراخيت الكفر - السويداء	2.9	60	17	5	2.75	0.5	5	7.5	0.5	1

الجدول 6: التحليل الكيميائي للرمل المستخدم في تصنيع السيراميك في سورية

المنطقة	وسطي التحليل الكيميائي									
	L. O. I	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ca O	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2	$CaCO_3$
رمل القريتين	0.2	97.5	0.75	0.2	0.25	0.2	0.5	0.5	0.2	0.01
رمل القطيفة	0.25	97.25	0.5	0.3	0.3	0.2	0.25	0.05	0.25	0.01

الجدول 7: التحليل الكيميائي لكسارة القرميد المستخدم في تصنيع السيراميك في سورية

وسطي التحليل الكيميائي								
L.O.I	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	Ca O	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2
0.72	57.89	17.49	7.09	10.76	3.02	3	0.29	1.07

حل استعمال الغاز الطبيعي محل الفحم الحجري لتوليد الطاقة الحرارية. ولكن، يجري حاليًا استهلاك

موارد العالم من النفط والغاز الطبيعي بسرعة. وإذا ما استمر الاستهلاك بالمستوى الحالي فإن موارد النفط قد تستهلك وتنضب في أوائل القرن الحادي والعشرين. كما أن موارد الغاز الطبيعي ستنضب بدورها في أواسط القرن الحادي والعشرين. أمَّا مصادر العالم من الفحم الحجري فهي باقية ومستمرة إلى نحو 220 سنة مقبلة، وذلك وفق معدلات الاستهلاك الحالية.

قد يسدُّ الاستعمال المتنامي للفحم الحجري في إنتاج الكهرباء، بشكل خاص، النقص المتزايد لكل من الغاز والنفط. ومع ذلك، فإن استعمال الفحم الحجري يحمل في طياته مشكلات من نوع خاص؛ إذ إن احتراقه يشكل سببًا رئيسيًا لتلوث الهواء. ويشكل كل من **الرماد والكبريت** الشوائب الرئيسية في الفحم الحجري.

يتألف الرماد أساسًا من مركبات معدنية تتكون من عناصر: الألمنيوم، والكالسيوم، والحديد، والسليكون.

خواصه: تكون جزيئات الرماد بأبعاد أقل من 250 ميكرومتر، كروية، يمتاز بمقاومة ميكانيكية عالية، تراوح كثافته من 0.6 إلى 3، ناقليته الحرارية منخفضة، ويكون خاملاً كيميائياً.

إن خواص الرماد من حيث الشكل، والنعومة، والتدرج الحبي، والكثافة، والتركيب، تؤثر في خواص المنتج النهائي الذي نستخدم فيه الرماد.

تركيبه: يتكون من مجموعة من الأكاسيد: الحديد والألمنيوم والسيليكون. ومبيّن في الجدول (8) تصنيفات

الرماد حسب محتوياته وفقاً للمعايير الأميريكية ASTM (C 618):

استخداماته: إن استخدام الرماد المتطاير في مواد البناء ليس حديثاً، ومنذ أكثر من 2000 سنة وقبل معرفة الاسمنت البورتلاندي، استخدم الرومان الرماد البركاني وبنوا به أبنية ما زالت قائمة حتى الآن. إن التقنيات الحديثة لاستخدام الرماد تعود إلى 1950 حيث جُمِعَ الرماد المتطاير من محطات الطاقة وأُعيدَ استخدامه بعدة مجالات.

الجدول 8: التحليل الكيميائي لأنواع الرماد المتطاير

التصنيف / المحتوى	Class F منخفض الحديد (%)	Class F مرتفع الحديد (%)	Class C مرتفع الكالسيوم (%)	Class C منخفض الكالسيوم (%)
SiO_2	46 - 57	42 - 54	25 -42	46 - 59
Al_2O_3	18 - 29	16.5 - 24	15 - 21	14 - 22
Fe_2O_3	6.0 - 16.0	16 - 24	5.0 - 10	5.0 - 13.0
CaO	1.8 - 5.5	1.3 -3.8	17 - 32	8.0 - 16
MgO	0.7 - 2.1	0.3 - 1.2	4.0 -12.5	3.2 - 4.9
K_2O	1.9 - 2.8	2.1 - 2.7	0.3 - 1.6	0.6 - 1.1
Na_2O	0.2 - 1.1	0.2 - 0.9	0.8 - 6.0	1.3 - 4.2
SO_3	0.4 - 2.9	0.5 - 1.8	0.4 - 5.0	0.4 - 2.5
LOI	0.6 - 4.8	1.2 - 5.0	0.4 - 1.0	0.1 - 2.3
TiO_2	1.0 - 2.0	1.0 - 1.5	<1	<1

9 – المواصفات الفنية لبلاط السيراميك:

استناداً إلى المواصفة السورية (SNS 3450) يجب أن تحقق البلاطات المعايير المطلوبة وفقاً للبنود الثلاثة:

1. الخواص البنيوية والشكلية.
2. الخواص البعدية.
3. الاختبارات التي تنفذ على البلاطة.

إن الاختبارات التي تُجرى على البلاطات تتأثر مباشرة بمواصفات مكونات بلاطات السيراميك، وهذه الاختبارات هي: (**امتصاص الماء، ومقاومة الكسر، وقساوة الخدش، وقوة التماسك، التشقق، والصدمة الحرارية**). وعليه فإن الاختبارات الأربعة الأولى ترتبط بمواصفات جسم البلاطة، أمَّا باقي الاختبارات فترتبط بمواصفات الجليز على سطح البلاطة.

إن جسم البلاطة، بغض النظر عن الغاية من استخدامه، لابدَّ من أن يحقق معايير اختبارات امتصاص الماء ومقاومة الكسر. أمَّا فيما يتعلق ببلاط الأرضيات فإنه يتطلب قيماً أقل لخاصية امتصاص الماء وقيماً أعلى لمقاومة الكسر من تلك التي يحتاجها بلاط الجدران. وعليه فإن مسامية جسم البلاطة تقاس بخاصية امتصاص الماء الذي يُحدد من درجة الاندماجية التي تحققت في أثناء مرحلة الشوي.

استناداً إلى خاصية امتصاص الماء تقسم البلاطات إلى أربع مجموعات، كما هو مبيّن في الجدول (9).

إن مقاومة الكسر تتحدد أيضاً بخواص الاندماجية، وبشكل خاص بنسبة الفراغات الهوائية وحدود الحبيبات التي تكون ضمن المساحة التي تتعرض للتحميل.

الجدول 9 : تصنيف بلاط السيراميك

نوع البلاطة	نسبة امتصاص الماء %
مسامية (ليست زجاجية)	> 7.0
نصف مسامية	3.0 - 7.0
زجاجية	0.5 -3.0
كتيمة	< 0.5

بناءً على ما سبق، فإن مقاومة الكسر يمكن أن تزداد إذا نقصت المسامات (نسبة الفراغات الهوائية) وكذلك إذا قلت حدود الجزيئات ضمن الجسم المعرض للاندماجية. إن هذا الأمر يتحقق بزيادة كثافة الجسم المندمج.

إنَّ زيادة الكثافة تقلل من امتصاص الماء، ولكن من جهة أخرى فإن الكثافة الزائدة قد تسبب زيادة التقلص والانكماش والتحنيب لحدود غير مقبولة.

يبيّن الجدول (10) الخواص الفيزيائية لأنواع متعددة من البلاطات حسبما تحددها المعايير ANSI A137.1.

الجدول 10 : المواصفات الفيزيائية المعيارية لبلاط السيراميك

	نوع بلاطة السيراميك	نسبة امتصاص الماء (%)	قوة الكسر (kg)
دون جليز	بلاط موزاييك	0.5 (بورسلين)	113.4
		3.0 (غضاري)	
	بلاط حجري	5	113.4
	بلاط أرصفة	0.5 (بورسلين)	113.4
		5.0 (غضاري)	
بجليز	سيراميك	20	40.82
	بلاط موزاييك	0.5 (بورسلين)	113.4
		3.0 (غضاري)	
	بلاط حجري	5	113.4
	بلاط أرصفة	0.5 (بورسلين)	113.4
		5.0 (غضاري)	

10 - العمل التجريبي ومناقشة النتائج:

لتحقيق هدف البحث قمنا بعمل تجريبي وفق الخطوات التالية:

10-1 تحليل الرماد المستخدم من ناحية (أكاسيده، مركباته، التحليل الكيمائي)

10-2 تحديد النسبة المثلى لمادة الرماد في المزيج الجديد.

10-3 تحضيرات لمنتج تجريبي لبلاطات مضغوطة بالطريقة الجافة.

10-1 مواصفات الرماد المستخدم في التجربة:

يكون عادة المحتوى الزجاجي في الرماد أكثر من 70% (Helmuth, 1987) ويقوم الطور الزجاجي الكتيم بدور مهم في عملية الاندماجية (Kingery et al. 1976). إن معظم الكريستالات الصلبة، مثل الكوارتز، موليت، مغنيت، وهيماتيت، تتضمن جزيئات ذات حافات.

بسبب الخواص الفيزيائية والتركيب الكيميائي للرماد يمكن استخدامه كبديل جزئي عن الغضار في صناعة السيراميك. وبذلك يعدُّ مادة مهمة من المواد المركبة لبلاط الأرضيات والجدران.

حُلِّلَ الرماد المستخدم في هذا البحث الناتج عن معمل حديد حماة من ناحية التركيب الكيميائي، وتوصلنا إلى النتائج المبيّنة في الجدول (11).

الجدول 11 : التركيب الكيميائي للرماد المتطاير المستخدم في التجربة

الأكاسيد	النسبة الوزنية (%)
SiO_2	46.9
Al_2O_3	22.12
Fe_2O_3	15.49
CaO	5.09
MgO	2.52
SO_3	0.41
Na_2O	0.26
K_2O	0.53
TiO_2	0.09
P_2O_5	0.05
Mn_2O_3	0.09
SrO	0.05
L.O.I (950 °C)	7.31

إن نعومة الرماد تجعله جاهزا للاستخدام فوراً دون الحاجة لمعالجة من أجل تصغير حجم جزيئاته. هذا السبب هو من أحد الأسباب التي تجذب صناع السيراميك لاستخدام الرماد.

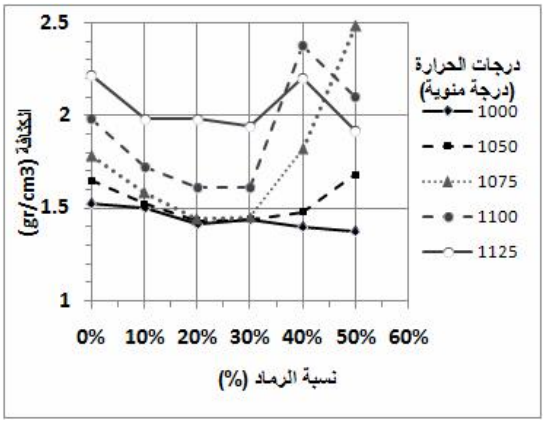
من خلال النتائج التجريبية المجراة، يمكننا أن نقدم مقارنة بين الأكاسيد الموجودة في الغضار المستخدم في صناعة السيراميك في سورية والأكاسيد الموجودة في الرماد المراد استخدامه في التجربة من خلال الجدول (12).

الجدول 12: التراكيب الكيميائية للغضار، الرماد

الأكاسيد	الغضار(%)	الرماد المتطاير(%)
SiO_2	57.6	51.65
Al_2O_3	27.5	23.52
Fe_2O_3	1.1	9.39
CaO	0.2	4.73
MgO	0.4	1.07
Na_2O	1.5	1.73
K_2O	0.2	2.32

2-10 تحديد النسبة المثلى للرماد في الخلطة:

حُضِّرَتْ عينات بنسب مختلفة من الرماد لتحديد النسبة المثلى التي يمكن استخدامها في الخلطة السيراميكية التي تخدم المواصفات الفنية المطلوبة للسيراميك. بدأنا بنسب رماد تراوح من 0% إلى 50% بتواتر 10% زيادة لكل عينة. ومبيّن من خلال الشكل (2) النتائج التي تمّ الحصول عليها.

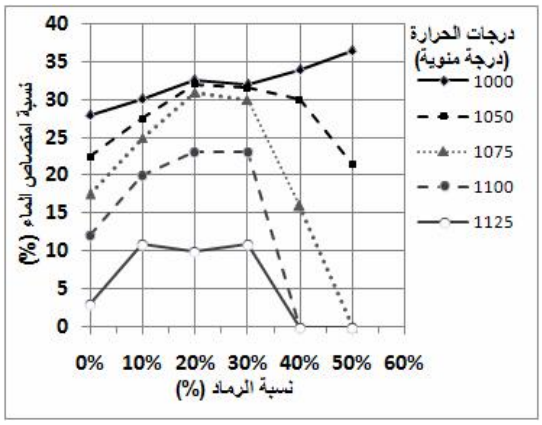


الشكل 2 : تغيّر قيم الكثافة تبعاً لتغيّر نسب الرماد في الخلطة وذلك من أجل درجات حرارة اندماجية مختلفة

الشكل (2) يوضح لنا العلاقة بين تغيّر كثافة المنتج تبعاً لنسبة الرماد المستخدم في الخلطة، وذلك من أجل عدة درجات حرارة اندماجية.

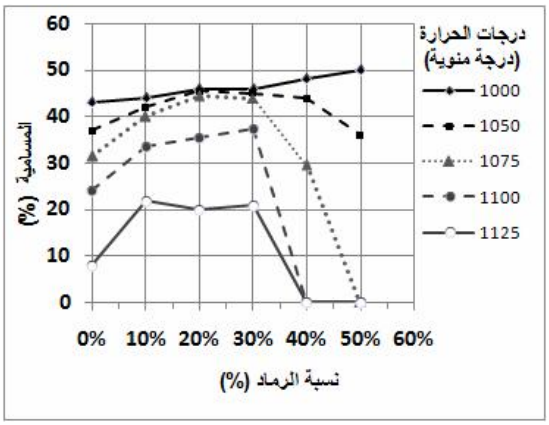
في هذا الشكل نلاحظ أن الكثافة تزداد مع ازدياد درجة حرارة الاندماجية مهما كانت نسبة الخلط. ولكن ومن أجل درجات حرارة اندماج 1050^0 و 1075^0، نلاحظ أن قيم كثافة مزيج الغضار مع نسبة تراوح من 10% إلى 30% من الرماد تتناقص، ومن ثم تزداد هذه القيم بشكل مضطرد بين نسبة 30% حتى 50%، في حين أن قيم الكثافة للمزيج تتناقص، بين 10% و30%، وبعد ذلك نلاحظ تزايد قيم الكثافة بين نسب خلط 30% و50%، ثمّ تعود للتناقص بشكل طفيف من أجل درجة حرارة اندماج 1100^0 و 1125^0.

في الشكل (3) مبيّن العلاقة بين نسبة امتصاص الماء للمنتج مع تغيّر نسب خلط مختلفة من الرماد من أجل عدة درجات حرارة اندماجية مختلفة. في هذا الشكل نلاحظ تناقص نسبة امتصاص الماء مع ازدياد درجة حرارة الاندماجية بشكل عام. أمَّا تغيّر قيم نسبة امتصاص الماء مع تغيّر نسب الخلط فلها السلوك الآتي: التزايد لقيم نسبة امتصاص الماء بين نسب خلط 10% و30% في حين نرى التناقص لقيم نسبة امتصاص بين نسب الخلط 30% و50%. مع ملاحظة أن قيم نسبة امتصاص الماء في المزيج الحاوي على نسبة خلط بين (40 – 50)% من الرماد تتناقص بسرعة كبيرة ويتم التوصل إلى نسبة امتصاص للماء أقل من 1% بعد الاندماجية عند درجات الحرارة التي تقع في المجال (1075 -1100 -1125 C).



الشكل 3 : تغيّر قيم امتصاص الماء تبعاً لتغيّر نسب الرماد في الخلطة، وذلك من أجل درجات حرارة اندماجية مختلفة

أمَّا بالنسبة إلى قيم المسامية، فنلاحظ من الشكل (4) أنه عند درجة حرارة الاندماجية نفسها فإن احتواء المزيج عن رماد بنسبة من 0% وحتى 30% يسبب زيادة في المسامية ولكن بزيادة نسبة الرماد في المزيج عن 30% فإنه المسامية تتناقص.



الشكل 4: تغيّر قيم المسامية تبعاً لتغيّر نسب الرماد في الخلطة وذلك من أجل درجات حرارة اندماجية مختلفة

النتائج السابقة توضح لنا أن إضافة الرماد إلى الجسم الغضاري يسرع عملية التكثف. وحسب المعايير البريطانية والأميركية فإن نسبة امتصاص الماء المطلوبة لبلاط الأرضيات يجب أن يكون أقل من 5%، وعليه فإن إضافة رماد بنسبة تزيد على 50% إلى مزيج المواد الأولية لتصنيع السيراميك تحقق المطلوب من حيث المعايير.

3-10 تحضير عينات لمنتج تجريبي لبلاطات مضغوطة بالطريقة الجافة:

الخطوة الأولى:

من خلال مشاهدات العمل التجريبي وباستخدام طريقة الضغط الرطب هناك عدة مشكلات تواجه التصنيع. نلاحظ أن لدونة المزيج تُفقد بسرعة بعد أن يبثق، ولهذا فإنه من الضروري ضغط البلاطة مباشرة بعد بثقها، مما يخلق مشكلات في أثناء التصنيع. أضف أن البلاطة (بالضغط الرطب) تظهر قساوة بعد الشوي وتنتج تعرجات دقيقة على السطح.

في طريقة الضغط الجاف تضاف نسبة ماء تراوح بين 5% إلى 7%، ومن ثم تضغط البلاطات بعد يوم على الأقل، ولكن بسبب خواص التميه فإن نسبة الماء المضافة تُستهلك جزئياً ويبقى في المزيج نسبة من الماء لا تكون كافية لتحقيق الارتصاص المطلوب للبلاطة. ويكون تفاعل ettringite ($(CaO)_6(Al_2O_3)(SO_3)_3 \cdot 32H_2O$) (هيدروسيلفوألومينات الكالسيوم) هو المسؤول عن استهلاك الماء في المزيج.

ومما سبق فقد حُضِّرَ المزيج من المواد والنسب الآتية (النسب وزنية):

- 51% من الرماد على أن تُعالج حرارياً.
- 45% من الغضار (غضار مخرم، مكيمن، كفير يابوس)
- 4% ولاستونايت
- 10% ماء (من الوزن الجاف)

الخطوة الثانية:

إزالة الكربون: إن أكثر عامل قد يعطي تأثيرات عكسية على هذه الطريقة هو المحتوى الكربوني العالي، فبينما يحترق الكربون بسرعة من سطح البلاطة فإن جزيئاته تبقى داخل الجسم وتسبب مشكلات كبيرة في أثناء الاندماجية. حيث تظهر حالات سلبية (في الطريقتين الضغط الجاف أو الضغط الرطب) مثل: الانتفاخ، والترقق (الانفصال إلى طبقات رقيقة)، والتقرحات، أو حتى ظهور رقع منتفخة على سطح البلاطة. إن أكبر مشكلة في استخدام الرماد هو المحتوى الكربوني حيث تظهر العيوب والمشكلات المشار لها سابقاً. ولذلك فإن الجهد الأكبر توجه لإزالة جزيئات الكربون أو لتخفيف مشكلاته.

وجرى التجريب وفق الخطوات الآتية لإزالة الكربون:

أولاً: عُرِّضَ الرماد للتسخين مسبقاً (لإزالة محتوى الكربون والمواد الطيارة الموجودة فيه) قبل مزجه مع المكونات الأخرى وإدخاله في مرحلة الاندماجية ضمن خطة الشوي. حيث سُخِّنَ الرماد بتواتر 20 درجة كل

دقيقة حتى درجة 800 درجة ثم إلى 900 درجة ثم إلى 1000 درجة ثم إلى 1100 درجة ثم إلى 1200 درجة مئوية على التوالي، لاحظنا أنه فوق درجة حرارة 800 درجة مئوية يبدأ الرماد بالاندماجية وعند درجة حرارة 1000درجة يشكل كتلة قاسية إلى حد ما. ونظراً إلى أنَّ كتل المواد تحتاج إلى طحن إضافي قبل مزجها مع المكونات الأخرى فإنه من الواضح أن درجة الحرارة لعملية التسخين يجب أن تضبط لتكون 800 درجة أو أقل.

ثانياً: خُلِطَ الرماد المعالج بالتسخين لدرجة حرارة 800 درجة بالتواترات الآتية:

5, 10, 15 درجة كل دقيقة، بالنسب الآتية: 51%، و 61% مع الغضار وولاستونايت مع إضافة 5% من الماء، وذلك لتحضير أقراص دائرية بقطر 5.7cm وبسماكة 6mm التي ضغطت بعد ذلك بضغط 17MPa. ومن ثم جففت العينات بحرارة 105 C مدة 30 دقيقة للتخلص من الماء الحر الموجود فيها، ومن ثم شويت بدرجة حرارة حتى 1200 C بمدة تقارب 50 دقيقة. وبعد أن وصلت درجة الحرارة إلى أعلى قيمة تم التبريد حتى الوصول إلى درجة حرارة أقل من 500 C، وبعد أن أخرجت العينات من الفرن لم يلاحظ على سطحها أي تشوه. أي من تلك البلاطات لم تظهر أي تشوه مما دلَّ على أن الكربون المتبقي قد أزيل من الرماد قبل أن يتم مزجه مع المكونات الأخرى. من الواضح أن هذه الخطوات لن تكون عملية ضمن خط الإنتاج الفعلي، وبذلك فإن الخطوة الأكثر عملية وواقعية هي أن تتضمن مرحلة الشوي (المعالجة الحرارية) كلاً من عمليات: أكسدة الكربون، وإزالة الكربون، والاندماجية بين مكونات الجسم السيراميكي، بآن واحد.

ثالثاً: من أجل تحديد مجال الشوي المطلوب للرماد غير المعالج بالحرارة مسبقاً، حُضِّرَتْ عينات بنسبة 61% من الرماد ذو محتوى كربوني > 20% و من ثم شويت بتواتر 5, 10,15, 20°C كل دقيقة. هذه العملية أظهرت عدم انتفاخ العينات المحضرة بطريقة الضغط الجاف. من جهة أخرى، عندما حُضِّرتْ بلاطات بطريقة الضغط الرطب بنسبة 61% من الرماد وشويت بالشروط السابقة نفسها، خضعت لتغيّرات حجميه (انتفاخ). هذا يشير أن المسامية والاكتناز للبلاطة قد تكون عاملاً مشاركاً في هذه الظاهرة.

وفي طريقة أخرى، فإن بعض الرماد غير المعالج بنسب مختلفة من LOI (المحتوى الكربوني) تراوح من 3% إلى 20% مُزجت مع غيرها من المكونات (بعد أن جففت من الماء بدرجة حرارة 105°C). ومن ثم شويت لدرجة حرارة 1200°C بمعدل 40°C كل دقيقة. في الشوي السريع لم يلاحظ على أي من البلاطات تشوهات سطحية. هذا يوحي بأن الشوي السريع أدّى إلى اندماجية سريعة للسطح مما جعله كتيماً لدخول الهواء إلى الجسم.

وبالنتيجة، فإن جزيئات الكربون المغلفة ضمن العينة لا تتأكسد ولا تولد أي ضغط داخلي فلا تسبب الانتفاخ، وخلال مرحلة الشوي فإن أكسدة الكربون الموجود تبدأ بدرجة حرارة دون 750°C.

في بعض الأحيان تبدأ الاندماجية قبل الأكسدة الكاملة للكربون. ولا يبدي الكربون المتبقي أي تأثير في المقاومة. إن حل مشكلة الكربون هذه يمكن أن تتم بوضع البلاطة في الفرن بدرجة حرارة 750°C مدة 12 دقيقة، ويمرر الهواء ضمن الفرن لمحاولة تقليل الوقت اللازم حتى يصل الكربون إلى المستوى المقبول.

عند الشوي السريع للبلاطة التي تحتوي رماداً بنسبة أكبر من 51%، لا يلاحظ أي انتفاخ. أمَّا عند الشوي البطيء، فيحترق الكربون في حين تبقى القطعة المشوية مسامية. أمَّا عندما نشوي بسرعة كبيرة، فإن سطح العينة تحصل

به اندماجية سريعة ويمنع الهواء من الدخول إلى الجسم الذي اخترقته جزيئات الكربون داخلياً.

من أجل ضبط عملية الشوي، شويت عدة بلاطات في الفرن المخبري باستخدام برامج شوي مختلفة، ووجد أنه من الكافي الاحتفاظ بالعينة ذات الأبعاد (10mm سماكة، و بقطر 60mm) مدة 12 دقيقة عند الدرجة الحرارية 750°C. وتم تشكيل العينات بضغط 25MPa وشويت بدرجة حرارية حتى 1200°C بتواتر 30°C كل دقيقة. ولكي نقيس خواص المتانة للبلاطات المشوية بسرعة، نحضر عينات بقطر 150mm وتشوى بالشروط التي تكون ملائمة لحرق جزيئات الكربون الموجودة في بلاطات أصغر.

من جهة أخرى، مع أن العينات المحتوية على الرماد التي تُعرض للشوي السريع لم يلاحظ بها انتفاخ، فإن جزيئات الكربون التي تكون قريبة من نواة الجسم لا تحترق والتي قد تعرض خواص البلاطة للخطر. إن الجزء المركزي الأسود للمواد الغنية بالكربون، قد لا يكون مرغوباً بها من وجهة نظر شكل البلاطة. ومن أجل التخلص من اللون الأسود بالقرب من الجزء المركزي للبلاطات السريعة الشوي، فقد شويت عدة بلاطات في الفرن المخبري بمعدل 30°C كل دقيقة بدءاً من 250°C إلى 1200°C .

ونبقي العينات عند درجة الحرارة 750°C مدة تراوح بين 12 إلى 18 دقيقة، وذلك لنتجنب النواة المركزية الغامقة اللون. ويكون الزمن اللازم للوصول إلى درجة الحرارة النهائية نحو 45 دقيقة (متضمنة 12 دقيقة التي نبقي العينة بها عند الدرجة 750°C). معظم العينات حضرت بسماكة تقريباً 9mm التي هي تقريباً أكبر بـــ 1mm أو 2mm من السماكة المعتادة لبلاط السيراميك. في بعض حالات الشوي كان يتم تزويد الهواء لكي نسرع عملية الحرق للكربون. وباستخدام الشروط المذكورة تم الحصول على عينات دون جزء مركزي (نواة) غامقة اللون.

اختُبِرَ جسم البلاطة لقوة الكسر بالاعتماد على مواصفات ASTM C648، وحسب مدة احتفاظ العينة عند درجة الحرارة 750°C فتوصلنا للنتائج المبيّنة في الجدول (13).

إن قوة الكسر لأربع بلاطات من أصل خمس عينات كانت أكبر من 113.4kg (هذه القيمة محددة حسب ANSI 137.1 لبلاطات الأرضيات).

الجدول 13: نتائج الاختبارات لعينات السيراميك

رقم العينة	وزن العينة (gr)	مدة الاحتفاظ بالعينة عند درجة حرارة 750°C (بالدقيقة)	قوة الكسر (kg)	الكربون المحتفظ
1	350	12	154.6	متوفر
2	350	15	156.8	متوفر
3	300	15	101.85	متوفر
4	300	18	133.9	غير متوفر
5	350	18	144.2	غير متوفر

اختُبِرَ خاصية امتصاص الماء للعينات الخمس في الفرن المستخدم لتصنيع السيراميك، فتوصلنا إلى النتائج كما في الجدول (14).

الجدول 14: نسب امتصاص الماء لعينات السيراميك

رقم العينة	درجة حرارة الشوي C°	نسبة امتصاص الماء %
1	1086	11.3
2	1117	11.1
3	1152	10.6
4	1175	7.7
5	1184	6.6

النتائج المبيّنة توضح لنا انخفاضاً خفيفاً في نسبة امتصاص الماء مع ازدياد درجة حرارة الشوي، ويلاحظ

انخفاض كبير لامتصاص الماء عند الانتقال من درجة الحرارة 1152 إلى 1175. وتُختَبَرُ خواص الجليز وبطانة الجليز للعينات المشوية بدرجة حرارة 1184.

لنقل التجربة إلى الواقع العملي صُنِّعَتْ بلاطات بطريقة الضغط الجاف وفق المعايير الآتية:

- أبعاد البلاطة: 300x300 mm
- سماكة البلاطة: 7.1 mm - 8.7 mm
- الرطوبة : 7% - 7.7%
- الضغط : 190 to 220 kg/cm^2
- زمن الشوي : 60 to 100 دقيقة
- درجة حرارة التسخين الأولي: 660 to 740 C^o
- درجة حرارة الشوي: 1143ºC
- زمن التسخين الأولي: من 24 إلى 50 دقيقة.

وفي أثناء الشوي التجريبي ومن أجل رفع فاعليته أُضيفَتْ مواد صاهرة مثل:

(nepheline-syenite, talc).

واختُبرت العينات على قياس نسبة امتصاص الماء كما هو مبيّن في الجدول (15).

الجدول 15: نسب امتصاص الماء للسيراميك

حسب ASTM C373

رقم العينة	نسبة امتصاص الماء %
1	12.9
2	17.6
3	15.8
4	16.0
5	11.5
6	17.6
7	11.2
8	13.5
المعدل	**14.5**

كما اختُبِرَتِ العينات على المقاومة للكسر كما هو مبيّن في الجدول (16).

الجدول 16: مقاومة الكسر لعينات السيراميك

حسب ASTM C648

رقم العينة	قوة الكسر (kg)
1	93.8
2	130
3	128
4	117
5	102
6	115.6
7	127.4
8	110.2
9	115.6
10	97.5
المعدل	**113.8**

نتائج وتوصيات:

في هذا البحث تمّ تثبيت إمكانية استخدام الرماد المتطاير كمكون من المكونات الأساسية لصناعة السيراميك بنسبة 50% وبشكل ناجح ومحقق للمعايير التقنية.

وقُدِّمَ من خلال البحث أيضاً برنامج يسمح باستخدام نسب أعلى من 50% للرماد المتطاير، ومع احتوائه على نسب كربون عالية في تصنيع بلاط السيراميك، وذلك من خلال تطوير مخطط درجات حرارة الشوي الذي أدّى إلى أكسدة الكربون المتبقي في الرماد المتطاير ومن ثمَّ أُزيل المسبب الداخلي للمشكلات التي قد تظهر من هذا التصنيع مثل: **انحناء البلاطة، وعيوب سطح البلاطة، وانخفاض قيمة مقاومة البلاطة.**

وبيّنت نتائج البحث في هذه الحالة أن البلاط المصنع باستخدام الرماد المتطاير بطريقة الضغط الجاف تلبي متطلبات بلاط الأرضيات والبلاط المستخدم خارجياً، وساعدت هذه النتائج في تحديد العوامل المطلوبة لتطبيق هذه الطريقة صناعياً وبشكل فعلي ضمن آليات خطوط الإنتاج.

إن متابعة دراسة هذه الطريقة تعدُّ من العوامل الهامة حيث أن المواد الخام من العوامل الأساسية التي تؤثر في كلفة بلاط السيراميك، ومن ثمَّ فإن استبدال المواد الخام عالية الكلفة بمواد أقل كلفة يجذب اهتمام مصانع السيراميك لأنه لا يخفض فقط كلفة المنتج وإنما أيضاً يجعله أكثر قدرة على التنافس داخلياً وخارجياً.

المراجع:

1- ASTM C373-88, Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products.

2- ASTM C1327-03, Standard test method for Vicker Indentaion Hardness of Advanced Ceramic.

3- Burst, J.F., 1991. The application of clay minerals in ceramics. Applied Clay Science 5 (5–6), 421–443.

4- F. Haendle (Ed.), *Extrusion in ceramics*. New York: Springer, 2007.

5- L. Barbieri, A. Corradi, and I. Lancellotti, "Bulk and sintered glass-ceramics by recycling municipal incinerator bottom ash," *Journal of the European Ceramic Society*, 20 (2000), 1637- 1643.

6- L. Kreethawate et al., "High percentages of hydrometallurgical zinc waste loading in unglazed tile body," *Ceramic Transactions*, 193 (2006), 99-105.

7- K. L. Lin, "Feasibility study of using brick made from municipal solid waste incinerator fly ash slag," *Journal of Hazardous Materials*, B137 (2006), 1810-1816.

8- M.J. Ribeiro, J.M. Ferreira, and J.A. Labrincha, "Plastic behaviour of different ceramic pastes processed by extrusion," *Ceramics International*, vol. 31, pp. 515–519, 2005.

9- N. Chandra et al., "Effect of addition of talc on the sintering characteristics of fly ash based ceramic tiles," *Journal of the European Ceramic Society*, 25 (2005), 81-88.

10- P. Filipponi et al., "Physical and mechanical properties of cement-based products containing incineration bottom ash," *Waste Management*, 23 (2003), 145-156.

11- R.C.C. Monteiro et al., "Development and properties of a glass made from MSWI bottom ash," *Journal of Non-Crystalline Solids*, 352 (2006), 130-135.

12- P. Filipponi et al., "Physical and mechanical properties of cement-based products containing incineration bottom ash," *Waste Management*, 23 (2003), 145-156.

13- Schmitz, R.M., Schroeder, C., Charlier, R., 2004. Chemo-mechanical interactions in clay: a correlation between clay mineralogy and Atterberg limits. Applied Clay Science 26 (1–4), 351–358.

14- TIS 37-2529 (1986), The Thai Industrial Standard Institute, Ministry of Industry, Thailand.

15- Peters, J.F., 1991. Determination of undrained shear strength of low plasticity clays. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts 28 (1), 13.

16- Z. Haiying, Z. Youcai, and Q. Jingyu, "Study on use MSWI fly ash in ceramic tile," *Journal of Hazardous Materials*, 141 (2007), 106-114.

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/5/5.