Al-Academy Journal
Special Issue
TheTwentieth-first Scientific Conference in College of Fine Arts/University of Baghadad
Journal homepage: https://jcofarts.uobaghdad.edu.iq
ISSN(Online) 2523-2029/ ISSN(Print) 1819-5229
DOI: https://doi.org/10.35560/jcofarts1578

Effect of (ZnO.CaO) system on the opacity properties of low-temperature ceramic glaze

Ahmed Hashim Al- Hindawi [a]

[a] *College of Fine Arts / University of Baghdad*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

ARTICLEINFO

Article history:
Received 5 April 2025
Received in revised form 20 April 2025
Accepted 28 April 2025
Published 26 May 2025

Keywords:
Low-temperature glaze, opacity, lead glaze, alkaline glaze, ZnO, CaO

ABSTRACT

(ZnO+CaO +) was used as a low-temperature glaze opacifier as an alternative to common tetravalent oxides (ZrO2, TiO2, and SnO2). The two compounds were added in various proportions to two types of glazes: lead glaze and alkaline glaze. The compounds were applied to a white kaolin body, and the body and glazes were fired at 1000°C. Formula units were calculated using the relationships between the three oxide groups (RO, R2O - R2O3 - RO2). A criterion was established to select the best opacity for the study samples, which was the highest opacity before the glazes hardened. The samples were then microscopically examined to determine the content of the glazes layers, as well as by XRD. It was found that the cause of the opacity was the non-fusion of the added opaque materials, as well as gas bubbles. Colorimetric analysis was then performed using the LAB system, Reflectivity was measured to show the light reflection rate of opaque glazes, and the results were discussed according to scientific data.

تأثير نظام (ZnO.CaO) على خصائص العتمة في زجاج الخزف واطئ الحرارة

احمد هاشم الهنداوي[1]

الملخص:

تم استخدام اوكسيدي (CaO + ZnO) كمركب لتعتيم زجاج الخزف واطئ الحرارة بديلاً للمواد المعتمة الشائعة الاكاسيد الرباعية التكافؤ (ZrO_2, TiO_2, SnO_2) وقد اضيفت المادتان بنسب متعددة الى نوعين من الزجاج هما زجاج الرصاص(Lead glaze) و زجاج قلوي (Alkaline glaze) وتم التطبيق على جسم من الكاؤلين الابيض ، حرق الجسم والزجاج بدرجة حرارة (1000مْ)، تم حساب وحدة الصيغ (Formula units) من خلال العلاقات بين المجاميع الاوكسيدية الثلاث($RO, R_2O - R_2O_3 - RO_2$) و وضع معيار لاختيار افضل عتمة لعينة الدراسة وهو اعلى عتمة قبل تيبس الزجاج. بعد ذلك تم فحص النماذج مايكروسكوبية لتعرف محتوى طبقات الزجاج، فضلا عن (XRD) وظهر ان سبب العتمة عدم انصهار المواد المعتمة المضافة فضلاً عن الفقاعات الغازية، ثم اجري التحليل اللوني بنظام (LAB) وقياس الانعكاسية لبيان نسبة الانعكاس الضوئي للزجاج المعتم ، ثم نوقشت النتائج على وفق المعطيات العلمية.

الكلمات المفتاحية : زجاج واطئ الحرارة، العتمة ، زجاج الرصاص، الزجاج القلوي ، Zno ، CaO.

1- المقدمة:

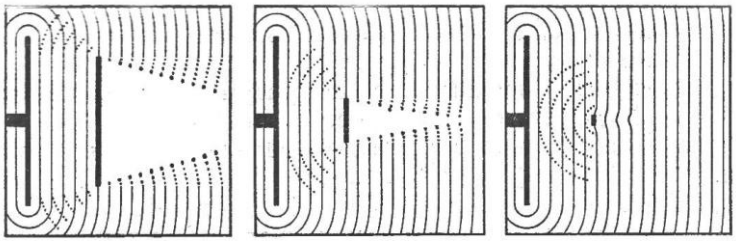
يصنف زجاج الخزف عدة تصنيفات فيزيائية متعلقة بالضوء الى زجاج شفاف (Transparent) الذي يسمح باختراق الضوء لطبقة الزجاج ومعتم ((Opaque) الذي يعيق مرور الضوء خلاله ، ان شفافية الزجاج ناتجة من الانصهار الكامل لمكونات خلطة الزجاج وتكوين (سائل متجانس) اما عتمة الزجاج سببها وجود جزيئات معلقة (Suspension particle) في السائل الزجاجي (صلبة، سائلة، غازية) (سوائل غير متجانسة) (Unmixability) ، فيزيائيا يكون الزجاج معتما لاختلاف معامل الانكسار الضوئي (Refractive index) بين السائل الزجاجي والجزيئات المعلقة مما يؤدي الى تشتت وتفريق الضوء داخل طبقة الزجاج وانعكاسه من السطح ، وافضل طرق تعتيم الزجاج هي اضافة عوامل معتمة مثل (ZrO_2, TiO_2, SnO_2) التي تنتج العتمة البيضاء، ولكن بسبب ارتفاع أثمانها وصعوبة الحصول عليها جرت عدة محاولات ودراسات لتجريب مواد اخرى تسبب العتمة ومنها اوكسيد الزنك (ZnO) وهو مركب قاعدي يميل للتصرف المتعادل فضلا عن أوكسيد الكالسيوم (CaO) اذ يعزز احدها الاخر في تكوين العتمة ،وكانت اغلب المحاولات البحثية في درجات الحرارة العالية (High temperature)، **لذا تهدف هذه الدراسة الى تكييف هذين الاوكسيدين (في منظومة واحدة) كمعتمين للزجاج في درجات الحرارة الواطئة (Low temperature) كنوع من الاستدامة في توفير بدائل لتعتيم الزجاج.**

2- الجانب النظري

1-2 آلية التعتيم

ان الظاهرة الرئيسة لتعتيم زجاج الخزف (تشتت الضوء) في طبقة الزجاج بسبب الجزيئات الدقيقة العالقة ذات الخصائص المختلفة عن خصائص السائل الزجاجي وتحديدا اختلاف معامل انكسار هذه الجزيئات ونوعية الوسط الزجاجي Tellier, 1979, (p.30) ، والانتشار الضوئي يعتمد على عدد وحجم الجزيئات المعلقة (التركيز)، فضلا عن التدرج الحجمي للمادة المعتمة الذي يكون بين (1-2 µm) ليؤدي الى انتشار الضوء في كافة الاتجاهات بسبب التشتت نتيجة الانكسار والانعكاس، وتزداد العتمة عندما ينخفض حجم الجزيئة الى (0.4 µm) وان ادق من ذلك تكون الجزيئة غير قادرة على صد الاشعة الضوئية مما يؤدي الى انخفاض قيمة العتمة (Singer&Sonja,1963,p.585)،ان العتمة في الزجاج تتكون نتيجة لعدة أطوار تختلف فاعليتها في احداث العتمة وهي:-

[1] جامعة بغداد/ كلية الفنون الجميلة/قسم الفنون التشكيلية



الشكل 1-1 تشتت الضوء بحسب حجم الجزيئات العالقة

1-1-2 اعادة التبلور(Recrystallization)

بعض المواد المنصهرة يعاد تبلورها اثناء التبريد حيث تنمو البلورات بعد السيطرة عند انخفاض درجة الحرارة (Britt,2014,p.148) وافضل عتمة يمكن الحصول عليها عندما تكون سرعتي التنوية (Nucleation) والتبلور (Crystallization) عاليتين.

2-1-2 عدم الذوبان:

بعض المواد نسب ذوبانها منخفضة وخلال انصهار خلطة الزجاج تبقى عالقة في حالتي الانصهار والتجمد اثناء فترة تبريد السائل الزجاجي (Kingery, 1967, p.528).

3-1-2 تكون الفقاعات في الطور السائل:

ان وجود فقاعات غازية دقيقة وبنسب عالية في طبقة الزجاج يؤدي الى تشتت الضوء، وذلك لاختلاف معاملات الانكسار وفيه يكون الزجاج اعلى انكساراً منه للغازات، حيث ان الفقاعات التي بقياس (0.3-0.2 µm) تؤدي الى تشتت وتفريق عالي للضوء، ان الحصول على فقاعات بهذه القياسات صعب جدا ولكن بامكان مركبات الزجاج انتاجها الامر الذي يؤدي الى زيادة قيمة العتمة (Tellier,1979,p.31) ، اما ومصادر الغازات التي تكون الفقاعات هي:

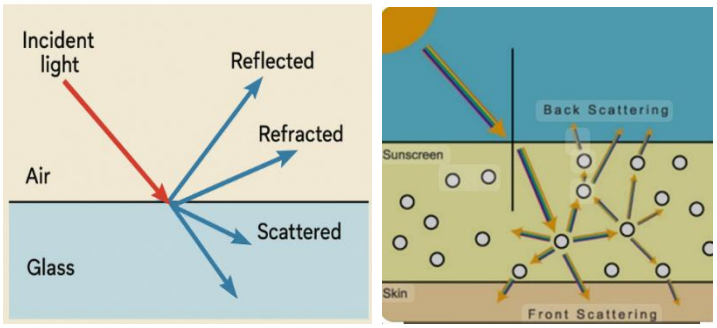
1- الهواء الذي يحجز بين طبقات الزجاج والذي يتحرر من القطع الفخارية المسامية خلال عملية الحرق.

2- الغازات التي تتحرر خلال عملية التحلل لبعض المركبات مثل الكاربونات والفلوريدات واحياناً نتيجة احتراق بعض المواد العضوية (Kingery,1967,p.p.436-439).

3- ان عملية تفكك البناء البلوري عند الحرق او تغير المكافئ (Bull, 1982,p. 79-74) ينتج عنها تحرر غازات مثل الاوكسجين وغيره.

2-2 العتمة والشفافية:

الزجاج الشفاف هوالذي يسمح للضوء بالنفاذ خلاله اذ يكون بمعامل انكسار متجانس من خلال هواء/ زجاج (السطح) قبل حدوث الانعكاس او التشتت او الامتصاص الجزئي ، اما الزجاج المعتم هو نتيجة الانتشار و الانعكاس والانكسار للضوء بسبب جزيئات صلبة او سائلة او الغازية (Al-Hindawi,2022,p.2).



الشكل 1-2 يبين نفاذ الضوء في الزجاج الشفاف وتشتته في الزجاج الذي يحتوي على جزيئات عالقة.

من الخصائص البصرية المهمة هو الانعكاس الجزئي المرآوي المنتظم والذي يحدد اللمعان والبريق حيث ان جزء من هذا الضوء ينفذ مباشرة داخل المادة، والضوء الساقط يكون انعكاسه انتشاري قبل وصوله الى الطبقات الدنيا من السطح، اما في الاجسام ذات الشفافية العالية فان الضوء يتبدد ويتفرق على السطح وجزء كبير منه ينفذ داخل الطبقة وبعضه ينعكس وينتشر على السطح (Kingery, 1986, p.524).

2-2-1- التعتيم (Opacification)

ان المؤشرات الرئيسية التي تحدد معامل التشتت للضوء ونواتج التعتيم لنظام من طورين هي التدرج الحجمي، معامل الانكسار النسبي وحجم جسيمات والطور الثاني وللحصول على اقصى قوة للتشتت (Scattering) يجب ان تكون الجسيمات بمعامل انكسار مختلف كثيراً عن الوسط السائل الذي يحويها، ويجب ان تكون الجسيمات بقياس حجمي اقرب الى الطول الموجي لشعاع الضوء الساقط فضلاً عن ذلك يجب ان تكون نسبة هذه الجسيمات العالقة عالي نسبياً.

ولتعتيم الزجاج السيليكي يجب ان يكون معامل الانكسار محدد بـ(1.49-1.65) وان يكون تأثير المشتت واضحاً ومعامل انكساره مختلف تماماً عن معامل انكسار السائل الزجاجي، فضلا عما تقدم يجب ان يكون للمعتم القدرة على التفتت والتبعثر(Slacking) الى جزيئات صغيرة في السائل الزجاجي ودخوله في التكوين خلال الانصهار ، او ان يقوم بإعادة التبلور اثناء اعادة التسخين، وان المعتم الجيد هو الذي يكون قليل الامتصاص (Kinger, 1986, p.p.528 -527) لذا فإن انعكاس الجسم الابيض يكون عالياً.

2-3 المعتّمات:

2-3-1 اوكسيد الزنك (ZnO):

اوكسيد الزنك مادة صاهرة في الزجاج (المؤكسد) ويؤدي الى التعتيم كونه يشجع النمو البلوري عند وجوده بكميات كبيرة نسبياً فضلاً عن ذلك انه مادة مانعة للتجزع (Anti-craze) ويمنح الزجاج صلابة (Hammer, 1975, p.322) استعماله بكميات قليلة يكون فعال ولكن هناك نقطة مثلى لكل زجاج لاستيعاب هذا الاوكسيد وخاصة عند زيادته حيث يسبب نتائج غير متوقعة ، عتمته غير ثابتة ومن الصعب الحصول عليها بشكل منسجم ومتجانس، تقسم فاعلية ZnO الى ما دون (1085مْ) وهنا لا يكون فعالا فيسبب العتمة ، اما فوق(1085مْ) فيكون صاهرا فعالا جدا ولا حدود حرارية لاستخدامه (Benkacem,2020,p.93).

اوكسيد الزنك يعمل على استقرار السيليكات في الزجاج الواطئ الحرارة اذ يدخل ايون (Zn^{+2}) شبك سيليكا فيؤدي الى ارتخاء اواصره (Hammer, 1975, p.322) يمكن استخدام اوكسيد الزنك كبديل لأكاسيد ذات قوة انصهار عالية مثل (Na_2O, K_2O, PbO CaO) حيث يحل ثانياً بهذه الصفة بعد اوكسيد البوريك (B_2O_3) في مدى حراري (1100مْ – 1200مْ)،

اوكسيد الزنك يؤدي الى تقلص الزجاج في المراحل الأولى من الحرق وهذا ينتج عنه تكسر في الطبقة وعند الانصهار تتكون نوع من الندب فضلاً عن ذلك انه ذو شد سطحي عالي ومعامله (4.7 dyn/cm) (Singer&Singer,1963,p,539)هذا يؤدي الى حدوث انسحاب (Crawling) ولتفادي هذه الظاهرة (يكلسن) قبل اضافته في الزجاج وبالرغم من معامل شده السطحي غير العالي نسبياً فإنه يزيد من لزوجة الزجاج .

تعتمد عتمة (ZnO) على بياض بلوراته وبالرغم من كونه صاهر فانه يعمل على اعادة التبلور(Recrystallization) ، اوكسيد الزنك يمتلك بعض الخصائص المتعادلة (Amphoteric) ، لذا فانه يعمل صاهر ومقاوم للصهر (Anti-flux) وعتمته ليست قوية مقارنة بالمعتمات الاخرى ويسبب فقدان الزجاج لمعانه وبريقه(Hammer,1975,p.323).

2-3-2 أوكسيد الكالسيوم (CaO).

أوكسيد قاعدي ترابي يعمل كمادة مالئة (Filler) في الزجاج واطئ الحرارة وصاهر في عالي الحرارة ،يمكن تقسيم فعالية CaO الى ما دون 1100مْ وعندها لا يعمل صاهر الا بنسبة قليلة جدا اذ انه يذوب بوجود مواد صاهرة قوية بدرجة ذوبان الخليط كونه مقاوم للصهر (Anti-Flux) ، ويمكن للزجاج امتصاص حوالي 15% CaO مع فقدان قليل باللمعان واكثر (Allam,1964,p.14) من ذلك يسبب العتمة واحيانا التيبس، يصبح أوكسيد الكالسيوم فعالا كمادة صاهرة في درجة حرارة فوق 1100مْ وهذا مناسب لكل أنواع الزجاج وكافة درجات الحرارة (Hammer, 1975, p.42)، (Sun,2020,p.p.6171-6180).

4-2 الدراسات المختبرية السابقة :(Tellier,1979,p.32).

اجريت بعض التجارب والدراسات على استخدام اوكسيد الزنك كعامل تعتيم في الزجاج ومنها:

1- تجربة بوردي (Burdy) الذي استطاع ان يصل في تجاربه الى صيغة زجاج تحتوي على (0.4-0.45) ZnO، وكانت النتائج زجاج ابيض معتم وبراق وكان تأثير الألومينا (Al_2O_3) تأكيد للعتمة . من خلال اضافتها مع السيليكا (SiO_2) بنسبة تقارب (5.5 mol).

2- تجربة باور (Bau) الذي بدأ دراسته بتأثير نسب متعددة من ZnO بدل اكاسيد BaO, MgO, CaO, K_2O وقد برهن ان ZnO اعطى عتمة جيدة وبياض ولمعان وخاصة الخلطات الي تحتوي على K_2O والتي حرقت بدرجات حرارة عالية.

3- تجارب زايتزيفا (Zaitzeva) تشاي-كوسكا (Tchai-Kowska) ، وعلى نفس النمط السابق طور الباحثون زجاج يحتوي ZnO محروق بدرجة (1000مْ) واظهرت النتائج زيادة العتمة كلما ازدادت نسبة ZnO نتيجة ارتفاع نسبة التبلور، ولكن حدث انخفاض في درجة العتمة مع زيادة CaO الى حوالي 5%.

3- الاجراءات المختبرية:

1-3 الاجسام الفخارية:

تم اعتماد طين الكاؤلين (دويخلة) نموذج للجسم الفخاري الابيض بنسبة 80% وكروك (طين كاؤلين محروق) 20% وشُكلت النماذج على شكل مستطيلات بقياس (8×4 سم) وبسمك (2 سم) وحرقت بدرجة حرارة (1000مْ).

2-3 خلطات الزجاج الشفافة الرئيسية (Transparent glaze)

a- زجاج رصاص واستعمل فيه ثنائي سيليكات الرصاص المفرت (Fritted lead glaze) لتقليل تأثير اللون المصفر الناتج من اوكسيد الرصاص.

b- استخدم زجاج قلوي مفرت (Fritted soft alkaline) قاعدته اوكسيدي Na_2O وK_2O (Al-Hindawi,2024.p.p.27-36).

Lead glaze		Alkaline glaze	
Lead Bisilicate (Fritt)	80%	Softe Alkaline (Fritt)	75%
Kaolin	10%	Kaolin	10%
Quartz	10%	Quartz	15%

جدول 3-1 النسب المئوية لخلطات الزجاج

Glaze	RO,R_2O	R_2O_3	RO_2
Lead	PbO 0.7 ZnO + CaO 0.3	Al_2O_3 0.14	SiO_2 2.3
Alkaline	Na_2O 0.52 K_2O 0.13 ZnO + CaO 0.35	Al_2O_3 0.35	SiO_2 2.33 $B2O_3$ 0.44

جدول 3-2 وحدة الصيغة الجزيئة للزجاج المعتم.

3-3 اضافة المواد المعتمة:

تم إضافة المواد المعتمة بنسب متعددة لنوعي الزجاج على شكل ($CaCO_3$) و(ZnO) ، علما ان عاملي التحويل (CF) (0.561، 1.0) على التوالي ، وذلك لدراسة النتائج وتحديد درجات العتمة .

Glaze	CaO% + ZnO%	
Lead	2,4,6,810,12	2,4,6,810,12
Alkaline	4,6,810,12,14	4,6,810,12,14

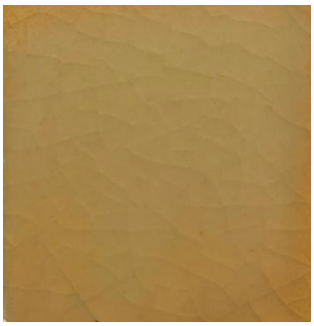
جدول 3-3 النسب المئوية المضافة:

4-3 برنامج حرق الزجاج:

تم اعتماد درجة حرارة (1000مْ) بواقع (100مْ / ساعة) لحرق خلطات الزجاج وذلك لبيان تأثير درجة حرارة موحدة على النتائج وتبريد سريع معدل 100/ ساعة.

5-3 معيار اختيار العينة:

لغرض تحديد افضل النتائج تم اختيار اعلى درجات العتمة بدرجة بياض ونعومة ولمعان (قبل تيبس الزجاج) .



b شكل 3-1 a

a- نموذج زجاج الرصاص

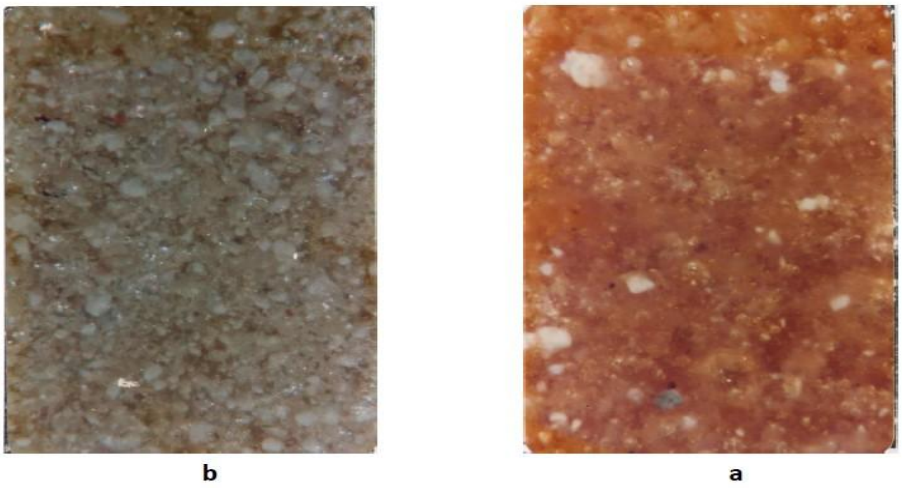
b- نموذج الزجاج القلوي

Glaze	Opacifier%	Opacity	Whiteness	Texture	Glossiness
	ZnO + CaO				
Lead	4 + 4	Opaque	Yellowish white	Smooth	Glossy
Alkaline	4 + 6	Opaque	Milky white	Less soft	Less glossy

جدول 4-3 نتائج الخصائص الفيزيائية

6- الفحص المايكروسكوبي:

فحصت عينة الدراسة بمايكروسكوب (Binocular) للتعرف على المحتوى النسيجي لطبقة الزجاج وتحديد مسببات العتمة، واظهر الفحص ان سبب العتمة في حالة ($CaO + ZnO$) هو عدم ذوبان وانصهار مواد التعتيم وبقائها عالقة في السائل الزجاجي فضلاً عن وجود الفقاعات الغازية.



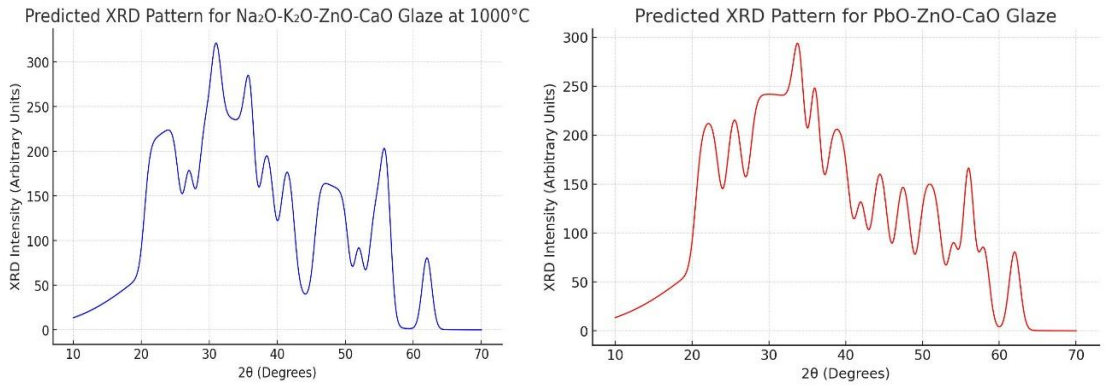
b a

الشكل 3-2

a- محتوى زجاج الرصاص من الجزيئات الصلبة

b - محتوى الزجاج القلوي من الجزيئات الصلبة والغازية

3-7 التحليل المعدني (XRD).



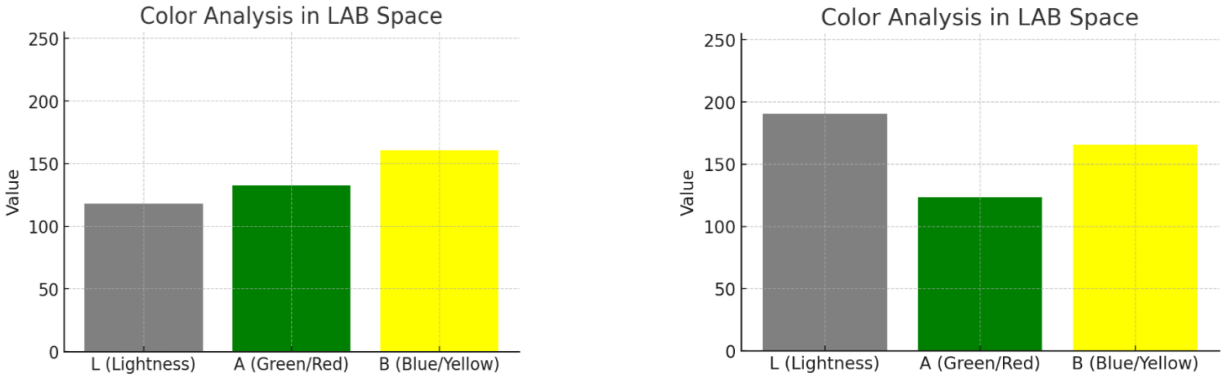
الشكل 3-3 مرتسمات (XRD) للزجاجين المعتمين الرصاص والقلوي (*ChatGpt*).

Alkaline		RI	Lead		RI
Leadsilicate	$PbSiO_3$	1.8-2.2	Combeite	$Na2CaSi_2O_6$	1.598-00
Willemite	Zn_2SiO_4	1.69-1.72	Willemite	Zn_2SiO_4	1.69-1.72
Wollastonite	$CaSiO_3$	1.61-1.65	Wollastonite	$CaSiO_3$	1.61-1.65
PbO	Quartz	1.54-1.55	Potassium Silicate	K_2SiO_3	1.35-1.5
Zincite	ZnO	1.85-2.0	Zincite	ZnO	1.85-2.0

جدول 3-5 المعادن المتبلورة في فحص (XRD) ومعاملات الانكسار الضوئي(RI).

8-3 التحليل اللون:

تم تحديد نسبة الإضاءة والتحليل اللوني بنظام (LAB)، (ChatGpt).



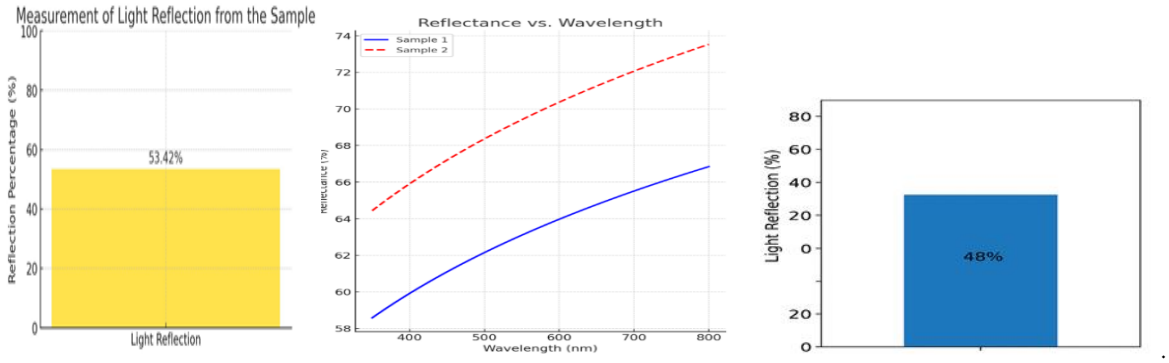
الشكل 3-4 التحليل اللوني للزجاجين المعتمين (a) الرصاص(b) القلوي (*ChatGpt*).

Glaze	L (Lightness)	A (Green/Red)	B (Blue/Yellw)
Lead	118.27(moderate brightness)	135.59(slightly towads red)	160.70(strong yellow tendency)
Alkaline	190.35 (Bright color)	123.43 (Slightly towards green)	165.51 (Clearly leans towards yellow)

جدول 3-6 نتائج الإضاءة والاطياف اللونية للعينة

9-3 قياس الانعكاسية .

اجري الفحص لبيان نسبة انعكاس الضوء من السطح وحسب الاطوال الموجية ، ويلاحظ ان النسبة المئوية الانعكاس الضوء من زجاج الرصاص 53.42 % اما منالزجاج القلوي 48 %.



b a c

الشكل 2-2 (a) مرتسم الانعكاسية ، نموذج الرصاص (الأحمر) والنموذج القلوي (الأزرق).

(b) النسبة % للانعكاس لزجاج الرصاص.

(c) النسبة % للانعكاس للزجاج القلوي.

4- مناقشة النتائج

اظهرت نتائج التعتيم بواسطة (CaO + ZnO) ان رفع نسبتهما تؤدي الى زيادة العتمة ولكن هناك حدود لاستيعاب الزجاج للكميات المضافة وخاصة عندما يكون الزجاج (واطئ الحرارة) حيث انه لا يعطي الكفاءة الكيميائية والتحفيز الكافي لحدوث التفاعل بين الوسط الزجاجي ومواد التعتيم والتي تعتبر من المواد ذات (المقاومة الحرارية) نسبياً فدرجة انصهار اوكسيد الزنك (1800مْ) اما أوكسيد الكالسيوم (2570مْ) (Green,1975,p.89) وكونها قاعديان ويمتلكان درجات تفاعل عالية (Hammer,2015,p.p. 406-408) هذا يعني الانصهار والذوبان في خلطات الزجاج صعباً وهذا يؤدي الى بقاء جزيئات عالقة في السائل الزجاجي، الامر الذي يؤدي الى تكون طورين (سائل - صلب) ، وان التنبؤ بمقدار كميتي المادة الذائبة والباقية صعباً ويمكن ملاحظته من خلال درجة العتمة و التحليل المعدني (XRD) الذي اظهر تكون معادن نتيجة التبلور ولو بنسب ضئيلة .

فضلاً عن ذلك فإن اختلاف الكثافة يؤدي الى اختلاف معامل الانكسار الذي يؤدي الى زيادة في نسبة التشتت والتفريق الضوئي وكلما زادت الكثافة ازداد معامل الانكسار ، فزجاج الرصاص أعلى كثافة من زجاج القلوي ، وبسبب لونه المصفر هو اكثر امتصاصاً للضوء من الزجاج القلوي وهذا يؤثر في درجة العتمة (Allam,1964,p.163)،(Al-Hindawi.2023,p.p.669-676).

ظهر من خلال الفحص المايكروسكوبي ان نسبة الجزيئات العالقة في زجاج الرصاص اكبر مما في زجاج القلوي كون زجاج الرصاص اقل تفاعلاً مع القواعد ذات درجات الانصهار العالية بالمقارنة مع زجاج الصودا الذي يتفاعل بشكل اقوى ولكن هذا التفاعل الشديد يؤدي الى تكوين فقاعات غازية تساهم في انكسار الضوء وزيادة العتمة، ومن العوامل المهمة التي تسبب الفقاعات داخل طبقة الزجاج هو ارتفاع نسبة المواد المعتمة وهذا مرتبط بدرجة الحرارة الايوتكتيكية و كلما كانت هذه الدرجة واطئة ازدادت نسبة الفقاعات في بداية مرحلة الانصهار الذي تكون فيه اللزوجة عالية الأمر الذي يؤدي الى رفع قيمة الشد السطحي الذي يعمل على احتجاز الفقاعات داخل طبقة الزجاج وصعوبة تحررها خاصة وان خلطات زجاج في الدراسة واطئة الحرارة (Singer & Sonja, 1963, p.536).

ان اختلاف معامل الانكسار بين السائل الزجاجي (الطور المستمر) (Continuous phase) وجزيئات المادة المعلقة (Discontinuous phase) يؤدي الى فرق بين المعاملين وهذا الفرق هو الذي يعمل على تكون العتمة، فمعامل انكسار زجاج الرصاص (1.6-1.8) اما القلوي (1.5-1.6) (Taylor,1986,p.111) اما معامل انكسار ZnO (2.0034) و CaO (1.85) ، (Al-Hindawi,1997,p.193).

5- الاستنتاجات

- ان اوكسيدي (ZnO + CaO) بما يمتلكان من خصائص كيميائية اظهرا عتمة في نوعي الزجاج الرصاص والقلوي واطئ الحرارة نتيجة عدم الانصهار الكامل وتكوين مركبات معدنية نتيجة التبلور اثناء التبريد.

Conclusions

The two oxides (ZnO + CaO), with their chemical properties, exhibited opacity in both lead and low-temperature alkali glass due to incomplete melting and the formation of metallic compounds through crystallization during cooling.

References

1. Al-Hindawi, A. H. (1997). *The Possibility of Using Local Raw Materials to Produce Opaque Ceramic Glass, Ph.D. Thesis.* Baghdad, Iraq: University of Baghdad.
2. Al-Hindawi, A. H. (2022, May). The use of anhydrite (CaO.SO3) for the opacification of low temperature ceramic glaze. *Eurasian journal of Humanities and Social sciences*, pp. ---.
3. Al-Hindawi, A. H. (2023, 4 27). Effect of partial substitution of alkaline oxides with lithium oxide (Li2O) on low-temperature ceramic glaze. *Al-Academy*, p. 674. doi:DOI: 10.35560/jcofarts1254
4. Al-Hindawi, A. H. (2024, May 15). The possibility of modifying the mechansim of Segers theory to calculate ceramic glaze. *Al-Academy Journal*, p. 10. doi:DOI: 10.35560/jcofarts1393
5. Allam, A. M. (1964). *The Science of Ceramics: Glazing and Decoration, Part 2.* Cairo, Egypt: Anglo-Egyptian Library.
6. Britt, J. (2004). *The Complete Guide to Mid-Range Glazes: Glazing and Firing at Cone 4-7.* Asheville, NC, USA: Lark Books, Imprint of Sterling Co.
7. C.Tellier. (1979, 10 17-20). The opacifying of sanitary glazes by titanium oxide and zinc oxide. *cramic glazes scince and technology 3rd cerp proceeding* (p. 182). rmini, italy: Faenza Editrice.
8. ChtGPT. (n.d.).
9. Green, D. (1975). *Understanding Pottery Glaze.* London, England: Faber and Faber Limited.
10. Hamer, F. (1975). *The potter dictionary of materials and techniques.* London, Great B: Watson-guptill pub.
11. Hamer, F., & Hamer, J. (2015). *The Potter's Dictionary of Materials and Techniques.* London: An imprint of Bloomsbury Publishing PIc.
12. S. Benkacem, K. B. (2020, june --). Efffect of ZrSiO4ZnO Ratio on the Properties of Opaque Glazes Used in- Ceramic Sanitary-ware Industry . *Iranian journal of Materials and science and Engineering*, p. 12.
13. sijis sun, h. d. (2020, December ---). Preparation of CaCO3 TiO2 composite based opaque glaze : insi ght into the machanism of opacification and glaze yellowing inhibition. *Journal of the European ceramic society*, pp. 6171-6180.
14. Singer, F., & Singer, S. (1963). *Industrial Ceramic.* New York, USA: Chemical Publishing Co.
15. Taylor, J., & Bull, A. (1986). *Ceramic Glaze Technology.* London, England: The Institute of Ceramic, Pergamon Press.