

اعتبارات لترميم الزجاج الملون الأثري باستخدام أجهزة القياس الطيفي د/ أمجد محمد حسنى عبد الحليم*

ملخص البحث:

تنتشر تقنيات الزجاج الملون (المؤلف بالرصاص - بالخشب - بالجص) في العديد من المنشآت الأثرية بالوطن العربي، وكثيراً ما تفقد قطع من الزجاج الملون المستخدم في هذه الأعمال نتيجة لعوامل مختلفة، وعند ترميمها يجب استخدام زجاج له نفس اللون الأصلي في الأثر، ولا يجب أن يتم اختيار الألوان أو مقارنتها بالعين المجردة نظراً لما قد يسببه هذا من أخطاء ناتجة عن عيوب في الإبصار أو الإضاءة.

وقد حدد علماء الضوء ثلاث دلالات يعرف بها اللون وهي:

- الكنه
 - عامل النقاء
 - عامل النصوص
- وترتبط هذه الخواص بكيفية تكون اللون داخل الزجاج من حيث:
- الأيون الملون
 - تكافؤ الأيون
 - رقم التناسق
 - الأيونات التي يكون الأيون الملون روابط كيميائية معها.

وبناء على هذه العوامل فقد يتغير كنه اللون أو شدته، وباستخدام أجهزة القياس الطيفي[♥]، التي يمكن عن طريقها قياس امتصاص الضوء المار خلال الزجاج، وتحليل النتائج يمكن التوصل لتحديد عوامل تكوين اللون في الزجاج لاستخدام أو إنتاج زجاج له نفس لون الزجاج الأثري دون حدوث خطأ الأمر الذي يكفل الوصول لأحسن النتائج في عمليات الترميم.

مشكلة البحث وأهميته:

هناك العديد من تقنيات تشغيل الزجاج الملون تنتشر في المنشآت الأثرية بالعديد من أقطار الوطن العربي، وعند ترميم هذه الآثار ينقسم العمل إلى شقين:

- ١- ترميم المادة المستخدمة لتجميع الزجاج من خشب أو جص أو رصاص.
 - ٢- ترميم الزجاج المستخدم في الأثر.
- وكثيراً ما تكون هناك قطع زجاج تالفة أو مفقودة نتيجة لعوامل مختلفة الأمر الذي يتطلب استخدام قطع أخرى بنفس اللون.

* مدرس بقسم الزجاج - كلية الفنون التطبيقية.

♥ جهاز القياس الطيفي SPECTRO PHOTO METER

وتظهر هنا أهمية استخدام زجاج من نفس لون الزجاج الأصلي في الأثر وعادة تتم هذه العملية بالاعتماد على المقارنة البصرية غير أن هذا يؤدي أحياناً لحدوث أخطاء تنجم عن أحد العوامل التالية:

١- تغير في ظروف الإضاءة يؤدي إلى حدوث تغير في رؤية اللون:

يظهر هذا واضحاً عند استخدام الإضاءة الصناعية والتي يختلف الفيض الضوئي الناتج عنها من نوع إضاءة إلى آخر وأيضاً عن ضوء الشمس^(١)، فقد يتم اختيار اليوم في إضاءة تختلف عن المستخدمة في عرض الأثر مما يؤدي لوجود فروق في الألوان.

٢- تغير في لون الزجاج ناتج عن التقادم:

يحدث أحياناً أن تكون الأيونات الملونة للزجاج غير مستقرة تماماً الأمر الذي يؤدي إلى تغير وضعها داخل الزجاج عند اكتسابها طاقة تكفي لتحركها لتأخذ وضع أكثر استقراراً الأمر الذي يؤدي في النهاية إلى حدوث تغير في اللون^(٢)، ولذا يجب التأكد من تطابق حالة الأيونات المسببة للون في كل من الزجاج الأثري والمستخدم في الترميم.

عيوب في اختيار اللون ترتبط بعوامل إنسانية:

ترتبط قدرة الإنسان على اتخاذ قرار في مقارنة واختيار الألوان بحاسة الإبصار ومدى حدتها وقدرة العين على التمييز بين الألوان وأيضاً مدى حساسيتها للفوارق في درجات اللون.

هدف البحث:

لكي نستطيع اختيار لون مطابق لما هو في الأثر يجب أن نعرف كيف يمكن قياس الألوان لإجراء المطابقة بينها وتطبيق هذا على الزجاج الملون.

خطة البحث:

أولاً : تعريف اللون:

يعرف اللون بأنه التأثير الفسيولوجي الناتج عن تأثير شبكية العين بضوء ذي طول موجي محدد^(٣).

(١) مرجع رقم (١) ص ١٨ - ٢١.

(٢) مرجع رقم (٣).

(٣) مرجع رقم (٢) ص ١٥.

وقد توصل علماء الضوء إلى تحديد ثلاث خواص يمكن عن طريقها الاستدلال على اللون بشكل دقيق وهي:

Color Hue

١- كنه اللون:

السمة الأساسية التي تميز الألوان عن بعضها وهي أول ما نستقبله من اللون وتستخدم وصفاً للتعبير عن اللون " أحمر - أخضر - أصفر . . . (٤) " غير أنها لا تعتبر خاصية دقيقة بهذا الشكل فهناك العديد من الألوان التي يطلق عليها صفة " أزرق " غير أن المتخصص في اللون يكون أكثر تحديداً فيقول " أزرق كوبالت، أزرق ملكي، ... " وكذلك في بقية الألوان مما يتطلب تسميات لا نهائية عند خلط الألوان ببعضها الأمر الذي أدى للتوصل لقاعدة " اللون لا يوصف ولكن يرى " .

Value

٢- القيمة: (عامل النضوع)

الصفة الثانية للاستدلال على اللون والتي يعبر عنها ببساطة بقول (فاتح - غامق) وهي تعبر عن مدى اقتراب اللون من الضوء الأبيض أو الإعتام (الأسود) (٥)، فعندما يخلط اللون بالأبيض يزداد اقتراباً من الضوء الأبيض ليصبح (فاتح) وهكذا تتغير قيمته، وتتغير قيمة اللون فيالزجاج بتغير نسبة الأيونات الملونة الداخلة في الخلطة الزجاجي.

Saturation

٣- درجة التشبع: (عامل النقاء):

وهذه الصفة التي تعبر عن نضارة أو شحوب اللون، وتتغير درجة تشبع اللون بإضافة رمادي حيادي إليه (٦).

ويمكن تمثيل العلاقة بين العوامل الثلاثة السابقة في الشكل رقم (١) (٧)، ويلاحظ أن الدائرة الأفقية المحددة لكنه اللون لا ترتبط فقط بالألوان المحددة عليها ولكنها تحتوي أيضاً جميع الألوان البينية كما في دائرة الألوان (شكل رقم ٢) (٨).

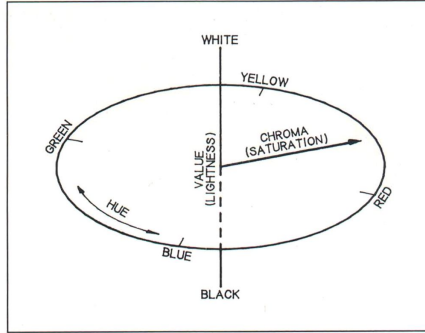
(٤) مرجع رقم (٤) ص ٩٥.

(٥) المرجع السابق.

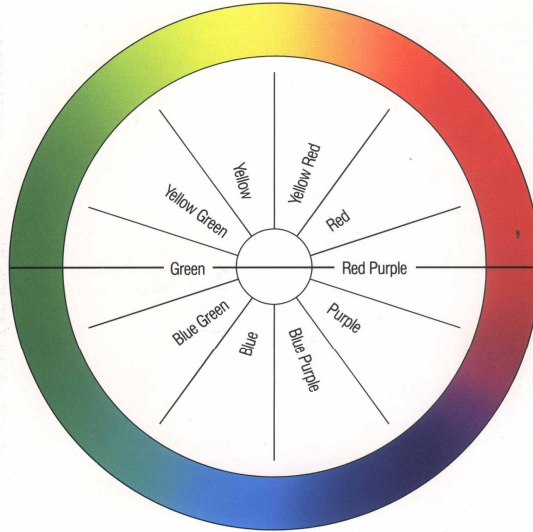
(٦) نفس المرجع.

(٧) مرجع رقم (٧) ص ٦.

(٨) نفس المرجع ص ٧.

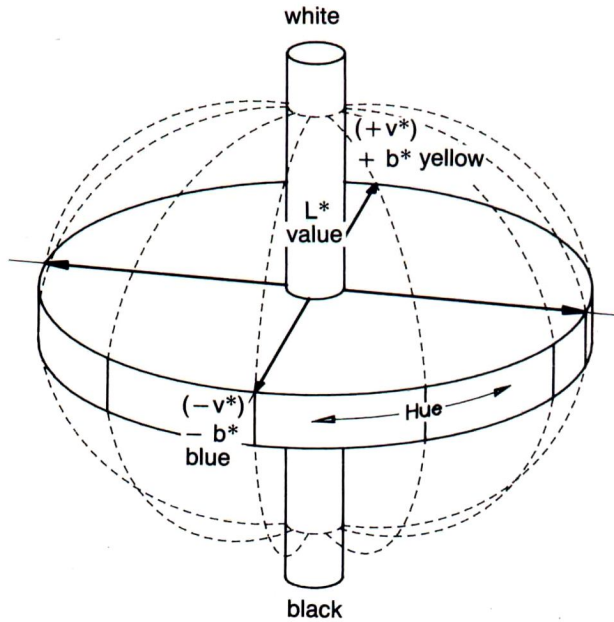


شكل رقم (١)
العلاقة بين العوامل المحددة للون



شكل رقم (٢)
دائرة الألوان

وفي عام ١٩٥٠ قام " ألبرت هـ. منسل " بوضع نظام أو مقياس للون قائم على العوامل السابق ذكرها حيث كون علاقة ثلاثية الأبعاد لهذه العوامل الثلاث (شكل رقم ٣)^(١) ثم قام بتجسيد هذه العلاقات باستخدام اللون فتوصل لما عرف بـ " شجرة منسل " "Munsell Color Tree" (شكل رقم ٤)^(١٠) ولا يزال هذا النظام مستخدماً حتى اليوم في العديد من المنتجات (الورق الملون - الطلاءات - الصبغات . .) غير أنه يعتبر غير دقيق علمياً نظراً لاعتماده على العين البشري في المقام الأول، كما أنه لا يمكن عن طريقه وصف اللون وصفاً علمياً دقيقاً.



العلاقة المجسمة للعوامل المحددة للون

(١) نفس المرجع ص ١١.

(١٠) نفس المرجع ص ٨.



شكل رقم (٤)

شجرة منسل للألوان

ثانياً: اللون في الزجاج:

يوصف الزجاج بأنه شفاف عديم اللون، ومعنى هذا أن مادة الزجاج لا تحتوي على أية روابط داخلية أو جزيئات تعترض مسار الأشعة الضوئية، وعند دخول أيونات مضيئة ملونة في تركيب الزجاج (وتستخدم أيونات العناصر الانتقالية) يظهر اللون ويتوقف اللون الناتج في الزجاج على عدة عوامل:

١- نوع الأيون الملون:

الأيون هو ذرة فقدت إلكترون فتحولت إلى أيون موجب (Cation) أو اكتسبت إلكترون فتحولت لأيون سالب (Anion)، ويرتبط اللون الناتج في الزجاج عند دخول أحد الأيونات الملونة بالموجات الضوئية التي سيعترضها هذا الأيون ويمنع مرورها خلال الزجاج، ويتوقف هذا على حجم الأيون - عدد الإلكترونات الموجودة في المدارات المختلفة وخاصة المدار الخارجي، ويرتبط هذا بالحجم الذري للعنصر الملون وهكذا نجد اللون الناتج عن استخدام الكوبالت يختلف عن النحاس عن الكروم عن أي عنصر آخر.

٢- تكافؤ الأيون الملون:

يعرف التكافؤ بأنه عدد الإلكترونات التي يمكن أن تفقدها أو تكتسبها ذرة ما لتتحول للحالة الأيونية لتكوين روابط مع ذرات أخرى.

ويختلف اللون الناتج عن الأيون الواحد باختلاف التكافؤ (إذا كان له أكثر من تكافؤ)^(١١) فنجد أن الكروم مثلاً يدخل في الزجاج على هيئة أيونات ثلاثية التكافؤ Cr^{+3} أو سداسية التكافؤ Cr^{+6} ، وفي حين يعطي الكروم الثلاثي اللون الأخضر في الزجاج فإن الكروم السداسي يعطي اللون الأصفر^(١٢).

نفس هذه الظاهرة توجد في أيونات ملونة أخرى مثل الحديد الذي يكون أيون ثنائي Fe^{+2} يعطي الزجاج لوناً أزرق، أيون ثلاثي Fe^{+3} يعطي اللون العنبري (أصفر عسلي)^(١٣)، ويظهر اللون الأخضر عند وجود النوعين من أيونات الحديد في الزجاج كنتيجة لتكون اللونين الأزرق والأصفر معاً.

٣- رقم التناسق:

يعرف رقم التناسق بأنه عدد ذرات الأكسجين التي يحيط الأيون نفسه بها، وقد يختلف رقم التناسق الأيون مع ثبات التكافؤ وينتج عن ذلك اختلاف اللون الناتج في الزجاج^(١٤)؛ فمثلاً نجد أن أيونات النحاس المسؤولة عن ظهور اللون في الزجاج ثنائية التكافؤ (Cu^{+2}) (الأيون أحادي التكافؤ Cu^{+1} عديم اللون) وعندما يحيط أيون النحاس نفسه بعدد كبير من ذرات الأكسجين على مسافات متباعدة يظهر اللون الأزرق التركواز المميز له (كما يحدث في الزجاج الجير صوديومي) ، أما حين يقل عدد ذرات الأكسجين المرتبطة بأيون النحاس فإن المسافات بين الذرات تقل وفي هذه الحالة يكون اللون الناتج أخضر (كما يحدث في زجاج الكريستال)^(١٥)، ونجد أيضاً أن الكوبالت رباعي التناسق يعطي الزجاج لون أزرق (كما يحدث في الزجاج الجير صوديومي والكريستال)، أما الكوبالت ذي التناسق الأعلى (السداسي) فيعطي اللون القرمزي (مثلما يحدث في زجاج الفوسفات). وعند وجود الأيونات الرباعية والسداسية التناسق معا ينتج اللون البنفسجي (لوجود اللونين الأزرق والقرمزي معا) كما في زجاج البوروسيلكات^(١٦).

٤- الأيونات التي يكون الملون روابط كيميائية معها:

يختلف نوع الروابط الكيميائية وطولها وقوتها باختلاف الأيونات التي تتكون هذه الروابط بينها، وقد يحدث أن تختلف هذه الروابط التي يكونها أيون ملون في حالة

(١١) مرجع رقم (٣) ص ٣٧ - ٤٠.

(١٢) مرجع رقم (٦) ص ١٣٢-١٤٠.

(١٣) المرجع السابق ص ٨٩-١٠٢.

(١٤) المرجع رقم ٣ ص ٤٥ - ٤٧.

(١٥) المرجع رقم ٦ ص ١٥٤ - ١٦٠.

(١٦) المرجع السابق ص ١٧٩ - ١٨٦.

ثابتة (نفس التكافؤ ونفس رقم التناسق) باختلاف الأيونات الأخرى التي يكون روابط كيميائية معها فمثلاً نجد أن أيونات الكروم السداسي Cr^{+6} ذات التناسق الرباعي CrO_4 تعطي اللون الأصفر في زجاج السليكا أما في حالة وجود أكسيد الرصاص في الزجاج فإن أيونات الكروم ترتبط به مكونة نوعين من الروابط:

" $PbO-CrO_3$ " وينتج عنها ظهور اللون الأصفر.

" $2PbO-CrO_2$ " وينتج عنها ظهور اللون الأحمر.

ويكون لون الزجاج الناتج برتقالي (لوجود الأصفر والأحمر معاً)^(١٧).

ومن هنا يتضح أن هذه العوامل الأربعة تؤثر في كنه اللون، أما قيمة اللون في الزجاج فتتبع إلى النسبة المئوية للأكسيد الملون الداخلة في الخلطة الزجاجية في حين تتأثر درجة تشبع اللون بوجود أكاسيد ملونة ينتج عنها اللون الرمادي في الزجاج.

ثالثاً: قياس اللون في الزجاج:

مما سبق يتضح أن استخدام البيانات الوصفية للتعبير عن اللون أو قياس لون بأخر يعتبر أداة غير فعالة بالمرّة ولا يمكن الاعتماد عليها للوصول للنتائج الدقيقة في عمليات الترميم، ولهذا فلا بد من استخدام وسيلة تعطي بيانات كمية محددة تعبر عن مسببات اللون في الزجاج ويمكن عن طريقها التوصل لماهية اللون بدقة تضمن سلامة العمل من الخطأ، ويكون هذا باستخدام جهاز القياس الطيفي.

جهاز القياس الطيفي: SPECTROPHOTOMETER

تعتبر أجهزة القياس الطيفي أدق الوسائل المتاحة حتى الآن لمعرفة مدى إنفاذ أو امتصاص المواد لثلاثة أنواع من الأشعة الكهرومغناطيسية^(١٨):

UV & Far UV	١- الأشعة فوق البنفسجية
Visible Light	٢- الأشعة المرئية
Infrared	٣- الأشعة تحت الحمراء

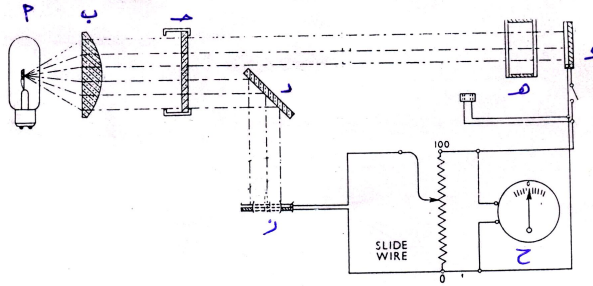
وسنهتم في هذا البحث باستخدام جهاز يقيس الطيف المرئي ويتكون من:

- أ- مصدر للإضاءة.
- ب- عدسة (لتحويل الضوء إلى أشعة متوازية).
- ج- مرشح ضوئي (لا يسمح إلا بمرور الأشعة ذات الطول الموجي المراد قياسه).

^(١٧) المرجع السابق ص ١٤٤

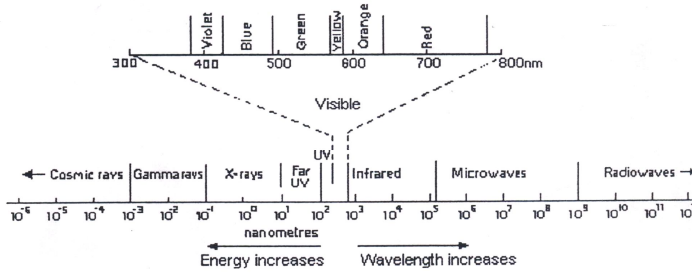
^(١٨) المرجع رقم ٤ ص ١٦٥ - ١٦٧.

- د- مرآة (لتعترض مسار جزء من الضوء وتعكسه باتجاه آخر).
 ه- مكان وضع العينات.
 و- خلية ضوئية تستقبل الأشعة المارة خلال العينة.
 ز- خلية ضوئية تستقبل الأشعة المنعكسة من المرآة.
 ح- وحدة قياس.
 وأيضاً يحتوي الجهاز على دوائر كهربائية ومقومات تيار لتقليل نسبة حدوث خطأ في القياس إلى أقل حد ممكن (شكل رقم ٥) (١٩).



شكل رقم (٥)
تركيب جهاز القياس الطيفي

وعند قياس العينة توضع في المكان المخصص لها، ويتم تشغيل الجهاز لفترة تتراوح بين ٥-١٥ دقيقة قبل بدء القياس لضمان تمام توهج المصباح واستقرار الفيض الضوئي الصادر عنه (تختلف هذه الفترة من جهاز لآخر وتكون محددة من قبل الشركة المنتجة)، وعند استخدام الجهاز تخرج أشعة الضوء من المصباح وتمر خلال العدسة لتتحول لأشعة متوازية ثم تمر خلال المرشح الضوئي ليسمح بمرور أشعة ذات طول موجي محدد حيث يتم القياس في مدى من ٣٠٠ إلى ٨٠٠ نانومتر (وهذا هو المدى المرئي من الأشعة والذي يحتوي ألوان الطيف عند أطوال موجية محددة - شكل رقم ٦).



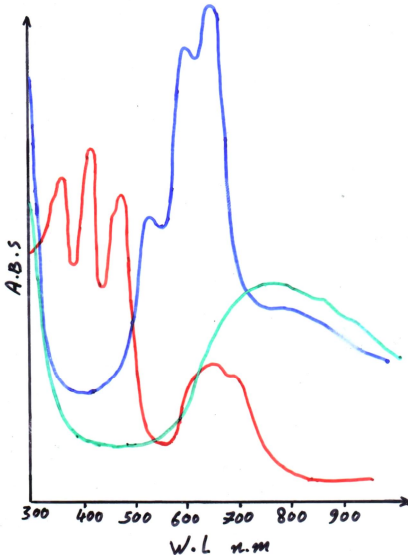
شكل رقم (٦) الأشعة الكهرومغناطيسية وألوان الطيف الضوئي

ويمكن القياس لكل ١٠ نانومتر، بعد هذا تعكس المرآة جزء من الضوء المار خلال المرشح إلى خلية كهروضوئية أخرى، بينما تمر بقية الأشعة خلال العينة المراد قياس لتسقط على خلية كهروضوئية أخرى، ينتج عن هذا تولد تيار كهربى من كلا الخليتين يدخل إلى وحدة القياس التى توضح مقدار الأشعة الممتصة أثناء مرورها فى العينة بناء على الفرق فى شدة التيار الكهربى الناتج عن الخليتين حيث تقل شدة التيار كلما زاد امتصاص العينة للضوء.

والجهاز بهذه الطريقة يعطى نتائج رقمية يتم تحويلها إلى علاقات بيانية، والأجهزة الحديثة تختصر العديد من الخطوات حيث يتصل الجهاز بوحدة حاسب آلى يمكن عن طريقها إدخال البيانات المطلوبة (مدى القياس - نوع القياس المطلوب - مدى التغير فى القياس) ثم نستقبل الرسم البيانى الموضح للقياس مطبوعاً على الورق أو مقروءاً على شاشة الجهاز.

استخدام الجهاز للتوصل لكنه اللون:

عند قياس الامتصاص لعينات الزجاج تظهر قمم الامتصاص Absorption Bands وكما أن كل أيون يعطى لوناً مميزاً خاصاً فإنه أيضاً يجب أجزاء معينة من الأشعة وهذا ما يظهر فى منحنى الامتصاص.



شكل رقم (٧)
منحنى الامتصاص الطيفي لثلاث
عينات من الزجاج الملون

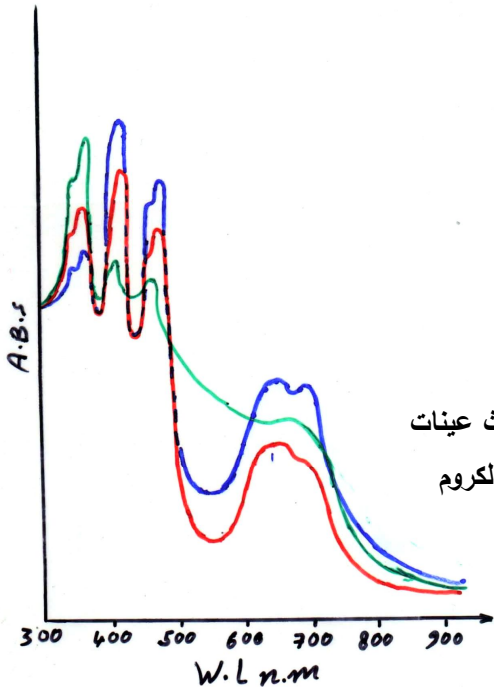
ويوضح شكل رقم (٧) ثلاث منحنيات لثلاث عينات من الزجاج الملون به، ويظهر الاختلاف في شكل المنحنى الخاص بكل أيون واضحاً (وهو يعتبر خاصية مميزة له)، فنجد في المنحنى باللون الأزرق منطقة عالية الامتصاص تحتوي على قمة مركبة (ثلاثية) وتكون قمم الامتصاص عند ٥٢٠ - ٥٩٠ - ٦٥٠ نانومتر، وهذا يدل على وجود أيونات الكوبالت ثنائي التكافؤ ذات التناسق الرباعي (وينتج عنها اللون الأزرق العميق في الزجاج).

أما في المنحنى باللون الأخضر فتظهر قمة امتصاص عريضة تبدأ بعد ٥٠٠ نانومتر ومركزها عند ٧٩٠ نانومتر، وهذا يدل على وجود أيونات النحاس ثنائي التكافؤ (وتعطي لون أزرق تركواز في الزجاج الجيرصوديومي).

وتظهر في المنحنى باللون الأحمر قمتي امتصاص (قمة مركبة) عند ٣٦٠، ٣٩٠ نانومتر ويدل على هذا وجود أيونات الكروم السداسي التكافؤ والتي تعطي الزجاج لوناً أصفر، بينما تظهر قمم أخرى عند ٤٢٤، ٤٨٨ نانومتر، وقمة أكثر عرضاً مركزها عند ٦٣٥ نانومتر ويدل هذا على وجود أيونات الكروم ثلاثية التكافؤ.

(وتعطي الزجاج لوناً أخضر، واللون الناتج في هذه الحالة أخضر زمردى).

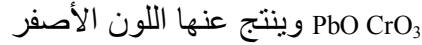
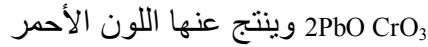
من هنا يتضح إمكانية استخدام التحليل الطيفي لمعرفة الأيونات الملونة للزجاج وتكافؤها لتميز كل أيون ملون عن غيره، وأيضاً في حالة تعدد الألوان الناتجة عن نفس الأيون الملون (نتيجة لاختلاف التكافؤ - رقم التناسق - العناصر الأخرى المرتبطة بالأيون) فإن هذه الاختلافات تظهر أيضاً من خلال منحنى الامتصاص الطيفي الأمر الذي يكفل معرفة دقيقة لحالة اللون في الزجاج، ويوضح شكل رقم (٨) منحنيات الامتصاص الطيفي لثلاث عينات ملونة باستخدام الكروم



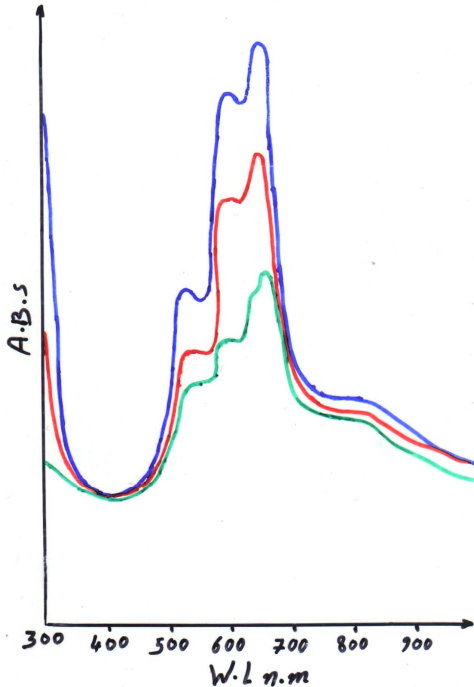
شكل رقم (٨)
منحنى الامتصاص الطيفي لثلاث عينات
من الزجاج ملونة باستخدام الكروم

وتظهر قمم الامتصاص في المنحنى باللون الأحمر عند ٣٦٠، ٣٩٠ نانومتر وتدل على وجود أيونات الكروم سداسى التكافؤ Cr^{+6} ذات التناسق الرباعى CrO_4 ، كما تظهر قمم امتصاص عند ٤٢٤ ، ٤٨٨ ، ٦٣٥ نانومتر وتدل على وجود أيونات الكروم ثلاثى التكافؤ Cr^{+3} ذات التناسق الثمانى CrO_8 (وينتج فى هذه الحالة اللون الأخضر الزمردى)، ونلاحظ فى المنحنى ذى اللون الأزرق انخفاض قمم الامتصاص الدالة على وجود أيونات الكروم سداسى التكافؤ وزيادة ارتفاع القمم الدالة على وجود الكروم ثلاثى التكافؤ وذلك نتيجة لوجود عامل مؤكسد قوى فى الخلطة (مثل حامض البوريك).

ونتيجة لهذا يزداد عمق اللون الأخضر فى الزجاج كلما قلت نسبة أيونات الكروم السداسى المسبب للون الأصفر وزاد نسبة أيونات الكروم الثلاثى المسبب للون الأخضر، أما فى المنحنى باللون الأخضر فتظهر قمم الامتصاص الدالة على وجود أيونات الكروم سداسى التكافؤ عالية بينما تنخفض القمم الدالة على وجود الأيونات ثلاثية التكافؤ، وفى هذه الحالة يظهر اللون البرتقالى فى الزجاج مما يدل على وجود أكسيد الرصاص مكوناً نوعين من الروابط مع الكروم:



وهكذا يتضح أن تحليل نتائج القياس الطيفى للزجاج الملون توضح أيضاً رقم التناسق للأيون الملون والعناصر الأخرى التى ترتبط بها ليظهر اللون، أما فى حالة استخدام نفس الأيون الملون فى نفس الحالة ولكن بتركيزات مختلفة مما ينتج عنه تغير قيمة اللون فيفيد استخدام الجهاز ويبين الشكل رقم (٩) منحنى الامتصاص الطيفى لثلاث عينات من الزجاج الملون بالكوبالت بتركيزات مختلفة.



شكل رقم (٩)

منحنى الامتصاص الطيفى لثلاث عينات من الزجاج الملون بالكوبالت بتركيزات مختلفة

ويلاحظ ظهور قمم الامتصاص الخاصة بأيون الكوبالت ثنائي التكافؤ ذي التناسق الرباعي في المنحنيات الثلاث، كما يظهر بوضوح انخفاض قمم الامتصاص كلما قل تركيز الأيون الملون في الزجاج. وهكذا يتضح إمكان استخدام الجهاز لعمل مقارنة دقيقة تماماً لعمق اللون في الزجاج بحيث نضمن تطابق اللون (سواء من ناحية الكنه أو الدرجة) للزجاج المستخدم في الترميم مع الزجاج الأصلي في الأثر.

رابعاً: تجهيز العينات:

لا بد من مراعاة عدة اعتبارات عند تجهيز عينات الزجاج للقياس لضمان دقة النتائج حيث أن الجهاز يعتمد على قياس الضوء المار خلال الزجاج ولذا يجب التأكد من عدم وجود أية مؤثرات قد تتسبب في إنتصار الضوء أو امتصاصه مما يؤدي لتغير في نسبة الضوء المار وبالتالي حدوث خطأ في القراءة لذا يجب أن تجهز العينات كما يلي:

- ١- أن تكون العينة خالية من العيوب (الفقاعات - عدم التجانس - العقد والأحجار) ويمكن اختيار جزء صغير من الزجاج ليتم القياس عليه بأبعاد ٨ × ٢٤ ملليمتر.
- ٢- أن يكون سطح العينة خال تماماً من أية اتساخات أو ترسبات أو تفرح^(٢٠).
- ٣- يجب صقل كلا سطحي العينة باستخدام أكسيد السيريوم (الروج الأبيض) مع أقراص اللباد الدوارة.
- ٤- في حال وجود خدوش Scratch أو ندوب Bits أو ترسبات على سطح لزجاج يجب صقل سطح الزجاج باستخدام أكسيد الحديد (الروج الأحمر) قبل أكسيد السيريوم مع أقراص اللباد الدوارة.
- ٥- في حال وجود ندوب عميقة تستخدم بودرة الكربوندموم مع أقراص اللباد قبل الصقل.
- ٦- في حال وجود اتساخات شديدة يجب تجنب عملية الكشط بأية أداة، ويفضل استخدام الماء ويمكن التنظيف باستخدام محاليل مخففة من حامض الهيدروكلوريك كما يمكن استخدام حامض الكبريتيك ثم تجرى عملية الصقل، ويجب تجنب استخدام أحماض الهيدروفلوريك - الفسفوريك - النيتريك نظراً لأنها تعمل على حدوث تآكل في الزجاج، كما يجب تجنب

(٢٠) مرجع رقم ٥ ص ١٥٦ - ١٦١

استخدام أية مواد قلووية والأفضل استخدام فرشاة دوارة من ألياف الزجاج للتنظيف^(٢١) قبل إجراء عملية الصقل.

النتائج

من خلال البحث السابق تم التوصل للنتائج التالية:

- ١ - أن ترميم أعمال الزجاج الملون بالاعتماد على المقارنة البصرية عملية غير دقيقة وتحتل حدوث أخطاء في اللون.
- ٢- أن استخدام أجهزة القياس الطيفي يؤدي إلى معرفة وتحديد مسببات اللون في الزجاج بما يضمن استخدام نفس اللون في عمليات الترميم (سواء بإنتاج زجاج بنفس اللون أو للمقارنة لاختيار زجاج ملون منتج مسبقاً).
- ٣ - أن استخدام أجهزة القياس الطيفي لإنتاج أو اختيار زجاج ملون للاستخدام في عمليات الترميم يضمن عدم حدوث تغير مستقبلي في اللون نظراً لتطابق حالة الأيونات الملونة في كل من الزجاج القديم (في الأثر) والحديث (المستخدم في الترميم).
- ٤ - يمكن استخدام أجهزة القياس الطيفي بتوثيق الألوان في الزجاج الأثري بحيث يكون هناك بياناً كميّاً علمياً عن اللون وليس وصفيّاً.
- ٥ - هناك طرق خاصة يجب مراعاتها عند تجهيز عينات الزجاج الملون للقياس حتى نضمن عدم حدوث خطأ في قراءة الجهاز.

(٢١) نفس المرجع ص ٢٤٩ - ٢٥١

المراجع

- ١ - يحي حمودة الإضاءة داخل المباني.
الهيئة المصرية العامة للكتاب ، ١٩٧٩
- ٢- يحي حمودة نظرية الألوان.
دار المعارف ١٩٨٥
- 3 - C. R. Bamford Colour Generation in Glass
Elsevier Scientific publishing Comp. 1977.
- 4 - Frans Gerritsem Theory and Practice of Color
Studio Vista , 1975.
- 5 - Roy Newton & Sandra Davison Conservation of Glass
Butter worth & Co. Ltd., UK, 1989.
- 6 - Wely, W. A. Colored Glass
The Society of Glass Technology, 1959
- 7 - Understanding color communication
X - Rite , USA 1993.
- 8 - WWW.Thermo.Com/eThermo/cma/tdfs/Articles/aarticles
file-12067. Ted. f.
- 9 - WWW.Chemistry.Csu.edu/dledovich/teaching/472/uvvis.html.