تفعيل دور تكنولوجيا الليزر في ترميم الزجاج

Activation of The role ofthe laser technology in the glass restoration

د. دعاء حامد حسين *

الملخص

إن مجال ترميم الزجاج) المسطح –المجسم (واحدا من أهم مجالات ترميم الأثار،وقد أستخدم فيه المرممون العديد من التقنيات والأساليب والخامات للوصول إلى أفضل نتائج الترميم المرجوة التي تضمن الحفاظ على هذا الأثر الزجاجي واستمرارية قيمته الأثرية والتاريخية، ولكن ظهرت الكثير من المشاكل والعيوب الناتجة من استخدام العديد من المواد والأدوات التقليدية في ترميم الزجاج اما لصعوبة تحضيرها أو سوء تطبيقها وإستخدامها المباشر على الأسطح الزجاجية مما سبب في بعض الأحيان زيادة تلف تلك القطع الزجاجية وأحيانا أخرى الى تدميرها جزئيا أو كليا،ومع تطور التقنيات والأساليب العلمية الحديثة ومن ضمنها تكنولوجيا استخدامات الليزر في العديد من المجالات وخاصة مجال الزجاج ظهرت أيضا أهميته في مجال ترميم الزجاج، ولما تتميز به هذه التكنولوجيا الحديثة من جودة ودقة متميزة وحساسية في التعامل مع الخامات وخاصة الزجاج وذلك على عكس الكثير من المواد والتقنيات التقليدية ظهرت مشكلة البحث في قصور آليات ترميم الزجاج بتلك التقنيات التقليدية ، وبالتالي القصور في حل مشكلات الترميم في المراحل المختلفة) التنظيف والتجميع والإستكمال، فالبحث هدف إلى الإلمام بإمكانيات ودور شعاع الليزر بأنواعه المختلفة في عمليات ترميم الزجاج بمراحله المختلفة وبالتالي إيجاد بدائل أكثر دقة وجودة من تلك التقنيات التقليدية، وترجع أهمية هذا البحث في إثراء مجال ترميم الزجاج الأثري بتكنولوجيا حديثة توفر الدقة والجودة المطلوبة للحفاظ على الأثار الزجاجية من التلف ،إفترض البحث أنه بتجربة إستخدام شعاع الليزر بأنواعه المختلفة في شتى مراحل ترميم الزجاج يمكن التوصل إلى تحديد دور هذه التكنولوجيا الحديثة بدقة في مجال ترميم الزجاج كبديل تكنولوجي للاساليب التقليدية، وقد توصل البحث إلى نتائج متباينة الجودة في دور وامكانيات استخدام انواع شعاع الليزر في عمليات التنظيف وازالة طبقات التجوية والعوالق أثر الدفن في التربة

* مدرس بقسم الزجاج – كلية الفنون التطبيقية – جامعة حلوان.

مقدمة:-

إن مجال ترميم الزجاج (المسطح- المجسم) واحدا من أهم مجالات ترميم الآثار، وقد أستخدم فيه المرممون العديد من التقنيات والأساليب والخامات للوصول إلى أفضل نتائج الترميم المرجوة التي تضمن الحفاظ على هذا الأثر الزجاجي واستمرارية قيمته الأثرية والتاريخية، ولكن ظهرت الكثير من المشاكل والعيوب الناتجة من استخدام العديد من المواد والأدوات التقليدية في ترميم الزجاج اما لصعوبة تحضيرها أو سوء تطبيقها وإستخدامها المباشر على الأسطح الزجاجية مما سبب في بعض الأحيان زيادة تلف تلك القطع الزجاجية وأحيانا أخرى الى تدميرها جزئيا أو كليا، ومع تطور التقنيات والأساليب العلمية الحديثة ومن ضمنها تكنولوجيا استخدامات الليزر في العديد من المجالات وخاصة مجال الزجاج ظهرت أيضا أهميته في مجال ترميم الزجاج، ولما تتميز به هذه التكنولوجيا الحديثة من جودة ودقة متميزة وحساسية في التعامل مع الخامات وخاصة الزجاج وذلك على عكس الكثير من المواد والتقنيات التقليدية ظهرت مشكلة البحث في قصور آليات ترميم الزجاج بتلك التقنيات التقليدية، وبالتالي القصور في حل مشكلات الترميم في التنظيف والتجميع والاستكمال، فالبحث يهدف إلى الإلمام بإمكانيات ودور شعاع الليزر بأنواعه المختلفة في عمليات ترميم الزجاج بمراحله المختلفة وبالتالي إيجاد بدائل أكثر دقة وجودة من تلك التقنيات التقليدية، وترجع أهمية هذا البحث في إثراء مجال ترميم الزجاج الأثري بتكنولوجيا حديثة توفر الدقة والجودة المطلوبة للحفاظ على الآثار الزجاجية من التلف. وتحتاج امكانيات الليزر العديدة والمتنوعة في مجالات الترميم المختلفة الي وقت طويل لاكتمالها من خلال سلسلة من الدراسات متعددة التخصصات تركز على التنظيف بالليزر. والتوصل إلى إزالة طبقة دقيقة جدا وانتقائية للمواد المتدهورة من سطح القطع الأثرية. ويمكن تحسين نتائج التنظيف عن طريق الحفاظ على الطبقات التاريخية ويتم ذلك بالاختيار المناسب لنوع الليزر وقياساته، ولقد تم ترميم العديد من التحف الشهيرة في العديد من البلدان المختلفة. حيث استخدم تقنيات الليزر لتنظيف الزجاج والحجر والمعادن والمواد الملونة والمواد العضوية، والتي تتطلب البدائل المختلفة لانواع الليزر وقياساته من حيث الطول الموجي وعرض النبضة. ومن الصعب الحفاظ على الأثر من خلال الطرق التقليدية للتنظيف عن طريق الإزالة الميكانيكية (الرش بالرمال) أو التفاعلات الكيميائية (استخدام كربونات الامونيوم أو غيرها من المواد) ولكن التنظيف بالليزر دقيق وانتقائي وبالتالي يتم الحفاظ على الاثر بسهوله ويتم إزاله المواد العضوية والمواد غير العضوية وتتحول من الحالة الصلبة الي الحالة الغازية أو الي بخار نتيجه لامتصاص نبضات شعاع الليزر التي ترفع من درجة حرارة المادة من خلال ضوء الليزر

دور الليزر في ترميم الزجاج:-

أولا- تحليل تركيب الزجاج الاثري لاعادة استكماله

ثانيا:- مسح الضوئي للقطع الاثرية الزجاجية بشعاع الليزر للمجسم والمسطح والتصوير الذي تم على سطح الزجاج في العصور المختلفة.

ثالثا:-استكمال الزخارف على الاجزاء المستكملة.

رابعا:-تنظيف الزجاج المسطح والمجسم.

خامسا:-تنظيف الجص (في الزجاج المؤلف بالجص).

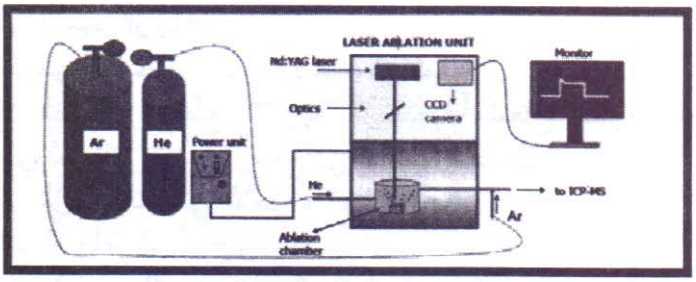
سادسا:-تنظيف الرصاص (في الزجاج المؤلف بالرصاص).

سابعا:-تنظيف الملونات المستخدمة على جميع انواع الزجاج.

أولا- تحليل تركيب الزجاج الاثري لاعادة استكماله.

يفضل استخدام شعاع الليزر في التحليل للحفاظ على الاثر من التأثير الكيميائي والفيزيائي للطرق التقليدية ويتم تحليل تركيب الزجاج الكيميائي من خلال شعاع الليزر لمعرفة مركباته ومحاكاتها لاستكمال ما نقص من اجزاء من خلال خلطة مشابه وقالب مناسب للجزء المفقود من القطعة الاثرية. الليزر مهم بشكل خاص في مجال التحليل الطيفي[1] المستخدم من قبل الكيميائيين والفيزيائيين. إن الخبراء في علم الكيمياء التحليلية طوروا تقنيات تمكن من تحديد المركب الكيميائي للمادة. وبواسطة هذه التقنيات تمكن العلماء من قياس الخصائص الفيزيائية، مثل الكتلة ومعامل الانكسار والتوصيل الحراري. وبعض التقنيات الأخرى تعتمد على الشحنة الكهربية والتيار الكهربي لتساعد في التعرف على المركبات الأساسية للمادة. وهناك المزيد من التقنيات لقياس مقدار الامتصاص absorption والانبعاثemission والتشتت scattering للإشعاع الكهرومغناطيسي وهذه التقنية تعرف بعلم السبكتروسكوبي spectroscopy أي علم الأطياف.

[1] Munir Humyun, Fred A. Davis and Marc M.Hir schmann,Major element analysis of natural silicates by Laser ablation,Journal of Analytical Atomic Spectrometry,2010.

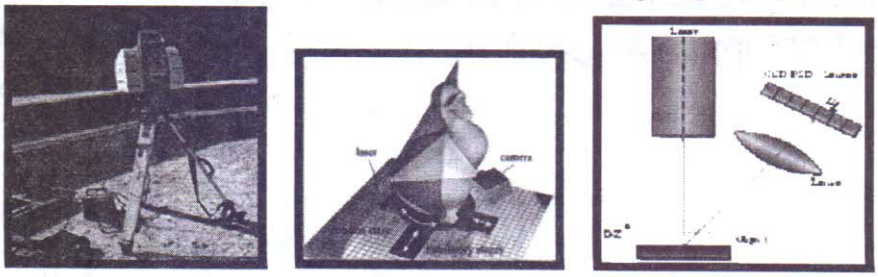


الشكل التخطيطي يوضح منظومة العمل بشعاع الليزر لتحليل الزجاج[٢] ومكان العينة واستخدام غاز الهيليوم لعدم رفع درجة حرارة الزجاج بدرجة كبيرة أثناء التعرض لشعاع ليزر النيوديميوم ياج Nd:YAG

والقياسات المستخدمة في التحليل للزجاج[٣] أن يكون نوع الليزر – ثابت القدرة، -الطول الموجي ما بين ١٩٣:٢١٣ نانوميتر- قصر زمن دوام النبضة يكون الأفضل بالفمتو ثانية أفضل من النانو ثانية .-الأصغر في حجم فوهة الجهاز هو الأفضل، الغاز المستخدم هو الهيليوم

ثانيا:- المسح الضوئي للقطع الاثرية الزجاجية بشعاع الليزر للمجسم والمسطح

والتصوير الذي تم على سطح الزجاج في العصور المختلفة. ويتم عن طريق اجهزة حديثة تحدد احداثيات جميع النقاط على سطح القطعة الاثرية. وتحديد الدرجات اللونية وتوزيعها ، لتجميع الاجزاء المتناثرة في التربة واستكمال ما ينتقص منها واعادة الطلاء عليه بنفس الدرجات لمحاكاة الاصل بدقة متناهية



الاشكال توضح جهاز المسح الليزري ورسم تخطيطي لكيفية عمله وسقوطه على القطع المجسمة[٤]

[2] www.cetac.com
[3]- Trejos T, Almirall JR. Effect of Fractionation on the Forensic Elemental Analysis of Glass Using Laser Ablation Inductively
Coupled Plasma Mass Spectrometry. Anal Chem, 2004:76, 1236-1242
[4] http://en.wikipedia.org/wiki/3D_scanner

قطعة أثرية تم ترميمها بالطرق التقليدية توضح اهمية المسح الليزري للتصميم والدرجات اللونية وتوزيعها لاستكمالها بالطرق الحديثة التي توفر الدقة والجودة[5]

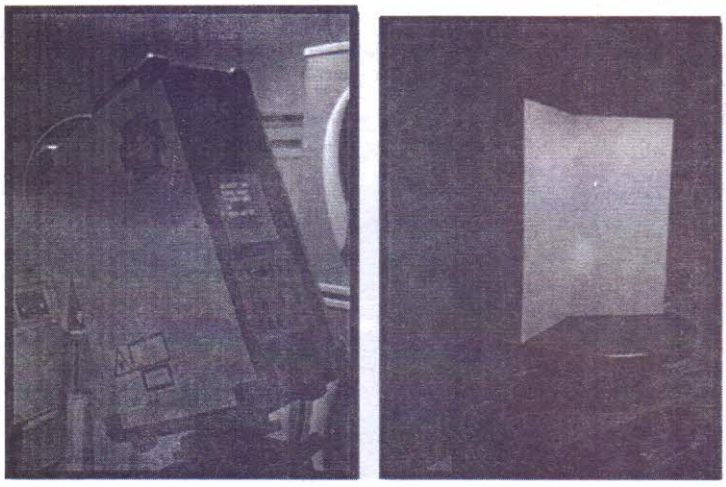
وسوف نركز في هذا البحث على نقاط المسح الليزري والاستكمال والتنظيف.

تجربه(١):-

الهدف:-عملية المسح لاجزاء من الزجاج مكسورة تم العثور عليها ومحاولة تجميع القطعة الاثرية بمساعدة الاجهزة الحديثة لليزر.

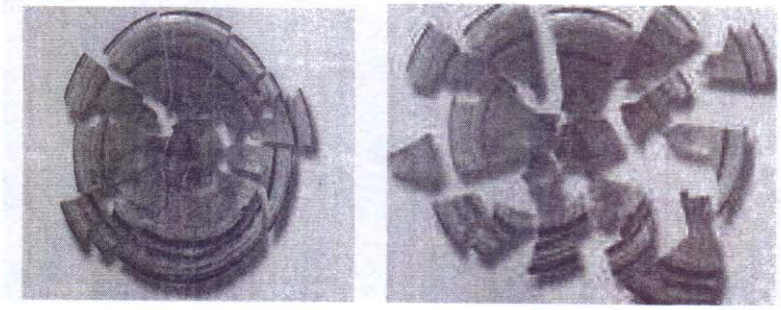
الفرض :- أن استخدام هذه التكنولوجيا سوف تساعدنا وتيسر لنا تجميع القطعة الاثرية بالدقة المطلوبة.

الأجهزة المستخدمة:-



الشكل يوضح الجهاز المستخدم في تجارب المسح الليزري والمنضدة المرفقة بالجهاز

[5] http://Wide Large Format Scanning Printing NJ Digital Color Ink Jet New Jersey.htm



الشكل يوضح عملية التجميع لطبق بمساعدة المسح الليزري

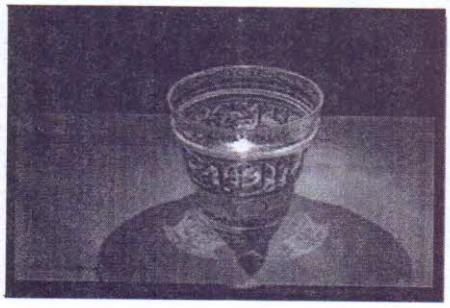
مراحل عمل التجربة -تصوير الأجزاء المعثور عليها من الآثر على حدى ثم تجمعيها على جهاز الحاسب الآلي بعد أعطاء كل قطعه رقم ببرنامج خاص ويتم التجميع على هذا الأساس ثم استكمال الأجزاء الناقصة بعد تحديدها وتحديد ابعادها لعمل القالب الخاص بها.

ثالثا:- استكمال الزخارف على الأجزاء المستكملة.

ويتم ذلك بعدة طرق -

بمسح القطعة لتحديد الدرجات اللونية الموجودة على الأجزاء المتوفرة من القطعة الأثرية وبالتالي استكمالها على الأجزاء المفقودة بعد عمل قطعه مماثلة بنفس التركيب الكيميائي-

أو باستكمالها باستخدام تقنية الحفر بالليزر على الجزء المرمم من مواد مشابه للزجاج مثل الايبوكسي وغيره من المواد وسوف يعطينا تصور للشكل النهائي للقطعة الأثرية.



قطعة اثرية توضح استمرار الزخارف على محيط الاناء

رابعا:- تنظيف الزجاج المسطح والمجسم بشعاع الليزر

عند استخراج الآنية الزجاجية من باطن الأرض وجد أنها تعانى من عدة مظاهر تلف هى :

-الاتساخات -التأكل السطحى -التلف البيولوجى -الكسر -الأملاح -الصدأ

ويعد الزجاج من المواد القابلة للتاثر بالظروف المحيطة وذلك فى جو الحفظ العادى بالمتاحف اى اذا توافرات درجة حرارة مناسبة ورطوبة مناسبة ويتميز زجاج السليكا والصوديوم والجير بالمتانة واذا ما تعرض الزجاج لظروف محيطة سيئة فان مقاومته تقل بصورة كبيرة.

والأن سوف نتنال كل مظاهر تلف وعوامله بالتفصيل .

-الاتساخات -:

تتراكم الاتساخات على الانية الزجاجية بسبب انها مطمورة تحت التربة منذ وقت طويل وتنوع هذه الاتساخات بين -:

أ-وجود عالق طينى بسطح الزجاج.

ب-وجود طبقات من نواتج التلف الناتجة عن تفاعل الاثر الزجاجى مع الوسيط.

-التاكل السطحى :

اهم عوامل التآكل السطحى :

حيث يزداد التأثير السيئ على الاثار الزجاجية اذا كانت مطمورة تحت سطح التربة

التربة -:

يعد تأثير الرطوبة من العوامل المؤثرة تأثيراً سيئاً وضاراً على الاثار الزجاجية التى تكون مطمورة تحت سطح التربة اى قبل الكشف عنها حيث يمتد التاثير السيئ للرطوبة ليس فقط على سطح الزجاج بل يمتد الى داخل التركيب الكيميائي له حيث يتحول أكسيد الصوديوم وأكسيد الكالسيوم إلي هيدروكسيد صوديوم وهيدروكسيد الكالسيوم طبقا للمعادلة التالية:-

$$H_2O \rightarrow OH + H^+$$

$$\equiv\!\!\equiv \text{------Si---O---Na} \xrightarrow{+H^+} \equiv\!\!\equiv \text{------Si---OH} + Na^+$$

$$Na^+ + OH \rightarrow NaOH$$

الاعتام :

وتنتج هذه الظاهرة نتيجة لتكون طبقات معتمة من نواتج التلف على سطح الزجاج عبارة عن اكاسيد معدنية او الشوائب الموجودة بالخامات الداخلة فى صناعة الزجاج ويكون اسفلها محتفظ بحالته الطبيعية سواء كان شفافاً او معتماً او ملوناً

الشروخ : Cracks

ويصاب الزجاج بظاهرة التشرخ نتيجة استخراجها من تربة الحفائر بصورة سريعة واختلاف درجة الحرارة

التلف البيولوجى

تصاب الانية الزجاجية بالكائنات الحية الدقيقة وهى فى ذلك تعتبر بيئة له بالرغم من انه مادة غير عضوية ولكن الاصابة تأتي له من المياة الارضية المطمور فيها وتكمن الخطورة فى الافرازات الحامضية التى تنتجها الكائنات الحية الدقيقة على سطح الزجاج مما يؤدى الى ظاهرة التاكل السطحى والذى يؤدى بدوره الى اعتام سطح الزجاج

الكسر

بسبب وجود الانية تحت سطح التربة و لان هذه الاوانى تمتاز بجدرانها الرقيقة فتكون محملة بضغوط داخلية كبيرة وتؤثر عليها ثقل التربة لانها تكون واقعة تحت ضغط واحمال خارجية وتكون فارغة سواء من الاتربة او المواد الاثرية وبالتالى لا تتحمل جدرانها هذه الضغوط ونظراً لطبيعة الزجاج كمادة سهلة الكسر والتهشم فانها تتحول الى كسر صغيرة .

الاملاح :

التربة الرطبة المالحة تعد من اسوا بيئات دفن الاثار الزجاجية حيث تتبلور الاملاح على سطح الزجاج او بين طبقات نواتج التلف فيؤدى نمو هذه البلورات الى انفصال طبقات نواتج التلف عن السطح حامله معها الزخارف وفى هذه الحالة لابد من الابقاء على نفس حالة الاثر الى حين نقله الى المعامل او يجب الحفاظ على حالة التوازن به الى حين علاجه وفقاً للاساليب العملية.[٦]

وتتميز عملية التنظيف بأشعة الليزر لكل ما سبق بالتالي:-

أ-الحد الادنى للاختراق (التحكم في الاختراق)Minimum invasiveness

لا يوجد اتصال مادي بينه وبين العمل التاريخي يمكنه العمل على اسطح هشه للغايةحتى قبل تدعميها لا يتطلب استخدام مواد كاشطة أو مواد كيميائية يتطلب فقط استخدام ملطف من الماء.

ب-درجة عالية من التحكم A high degree of control

يمكن قياس سمك طبقة التدهور وبالتالي التحكم في عمق نفاذ نبضة الليزر.

ج-الانتقائية Selectivity

شعاع الليزر بيعتمد على معامل امتصاص المواد للضوء الموجودة في طبقة التدهور غالبا ما يكون لونها غامق اقرب ما تكون للأسود الذي يمتص الضوء بدرجه

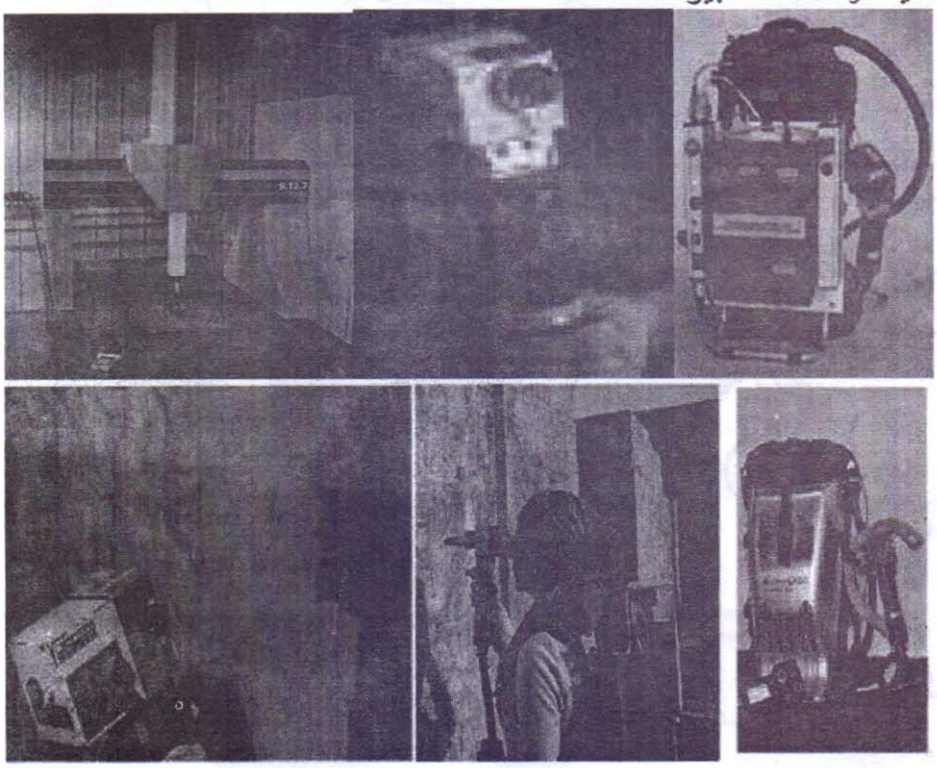
---

[٦]- ايهاب الروبي-الطريقه العلمية لعلاج وترميم الزجاج-٢٠٠٩.

عاليه مما يسمح بعملية الازاله الفورية بواسطة شعاع الليزر، والسطح المراد تنظيفه يتميز بلون فاتح ومعامل انعكاس عالي فبالتالي لا يتأثر بشعاع الليزر

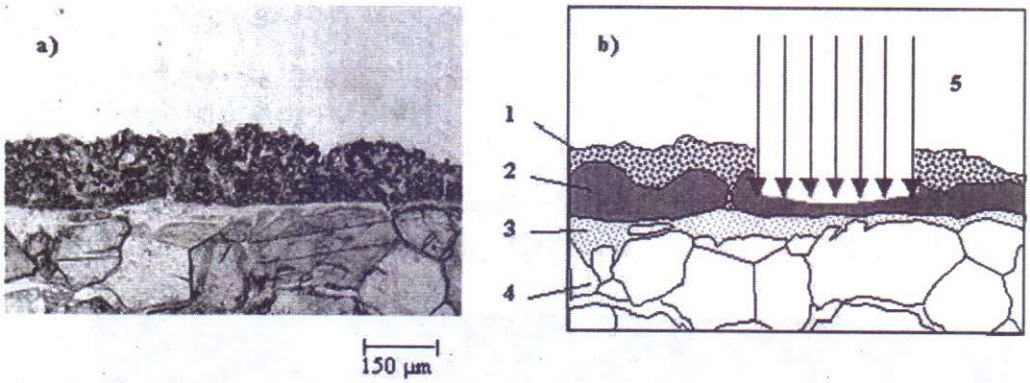
د- الدقة العالية High precision

التنظيف يشمل فقط المنطقة المضاءة بواسطة شعاع الليزر، من دون أي آثار ميكانيكية أو حرارية على المناطق المحيطة.-ليزر الالياف البصرية يسمح بتنظيف السطوح المعقدة والتحكم الدقيق في مكان البؤرة وتغير مكانها يوفر مرونة أضافية لتفاصيل دقيقة ومساحات كبيرة.

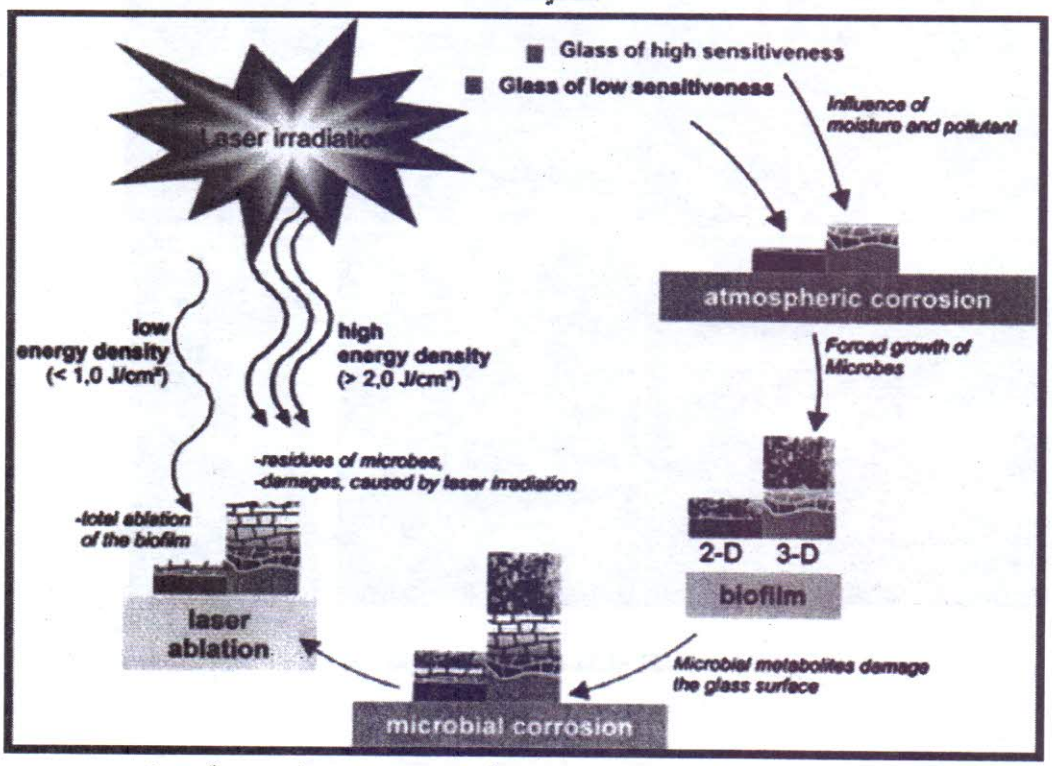


الأشكال توضح آلات مختلفة للتنظيف بالليزر[٧]

[7] http://Innovative, patented Laser Cleaning Systems.htm



الشكل يوضح رسم تخطيطي وصورة بالميكروسكوب للشوائب على سطح الزجاج قبل وأثناء التنظيف.[٨]



الشكل يوضح مراحل التقادم وما يناسبها من قدرة شعاع الليزر في عملية التنظيف

[8] Nello Carrara,Laser Techniques for Conservation of Artworks, Institute of Applied Physics,2006.

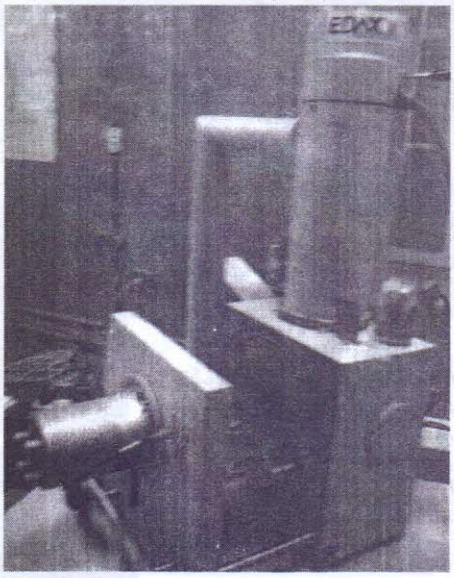
هناك العديد من الاجهزة للتصوير والتحليل للعينات الزجاجية منها الميكرسكوب الالكتروني لتصوير العينات قبل وبعد التنظيف.وسوف يستخدم الباحث هذا الجهاز في إجراء التجربة

تجربة(٢):-التنظيف بالليزر

الفرض:-أن استخدام شعاع الليزر بدقته وانتقائه في التنظيف يكون أفضل من الطرق التقليدية في الحفاظ على القطعة الاثرية.

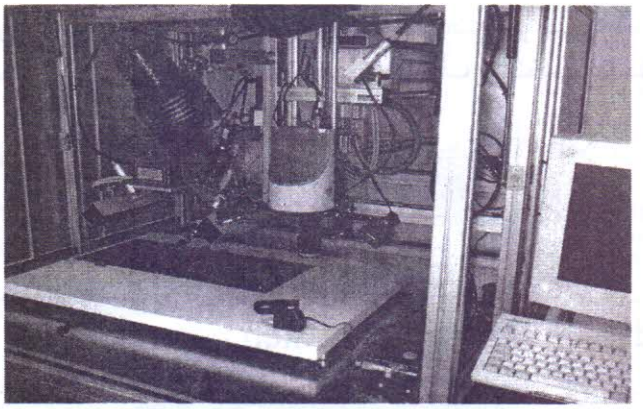
الاجهزة المستخدمة :- الميكرسكوب الالكتروني لتصوير العينات قبل وبعد التنظيف

-جهاز الليزر[9] Nd:YAG lasers – Q-switch -laser pulses

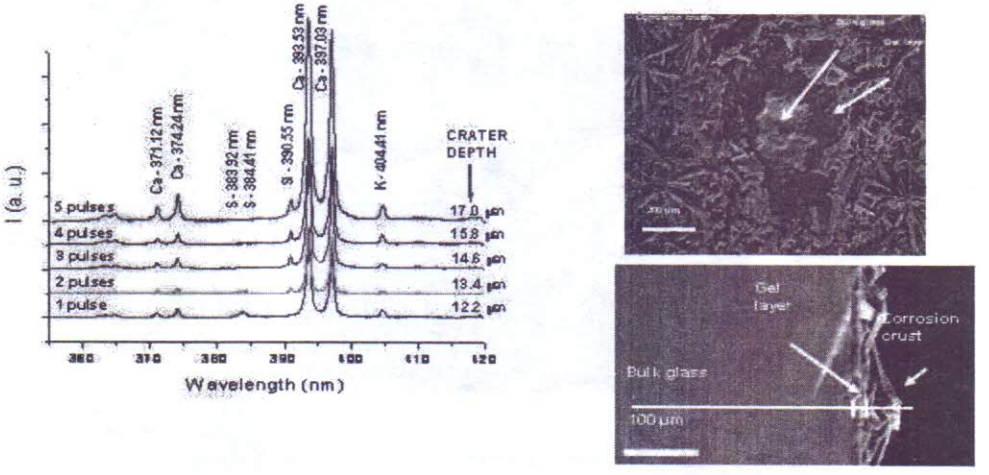


الميكروسكوب الالكتروني لتصوير العينات قبل وبعد التنظيف

[9] http://www.lasercleanall.com/movies.html

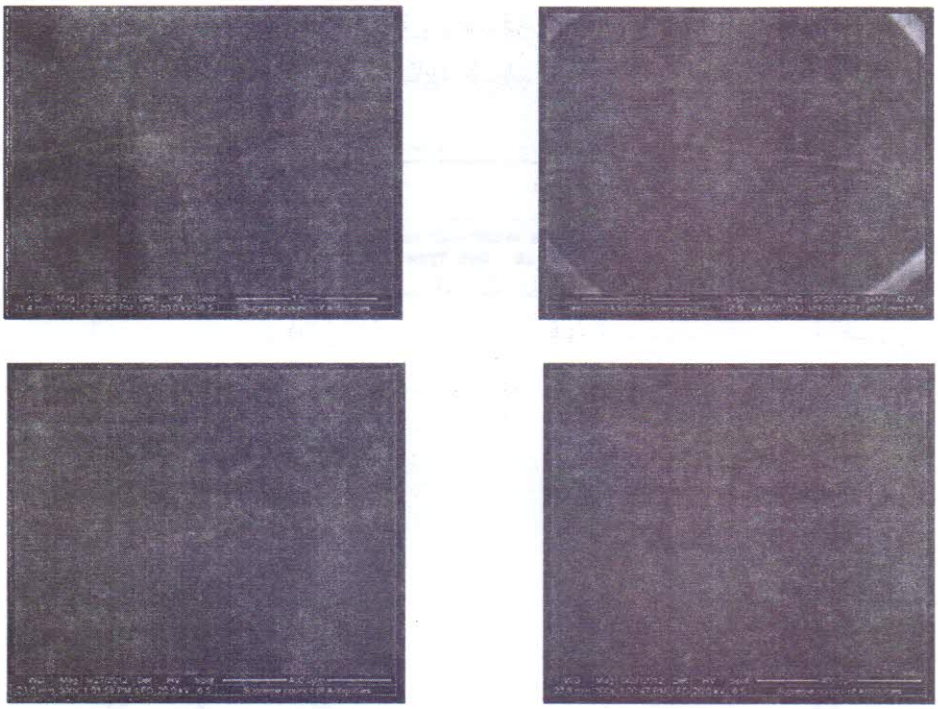


جهاز الليزر الخاص بالتنظيف

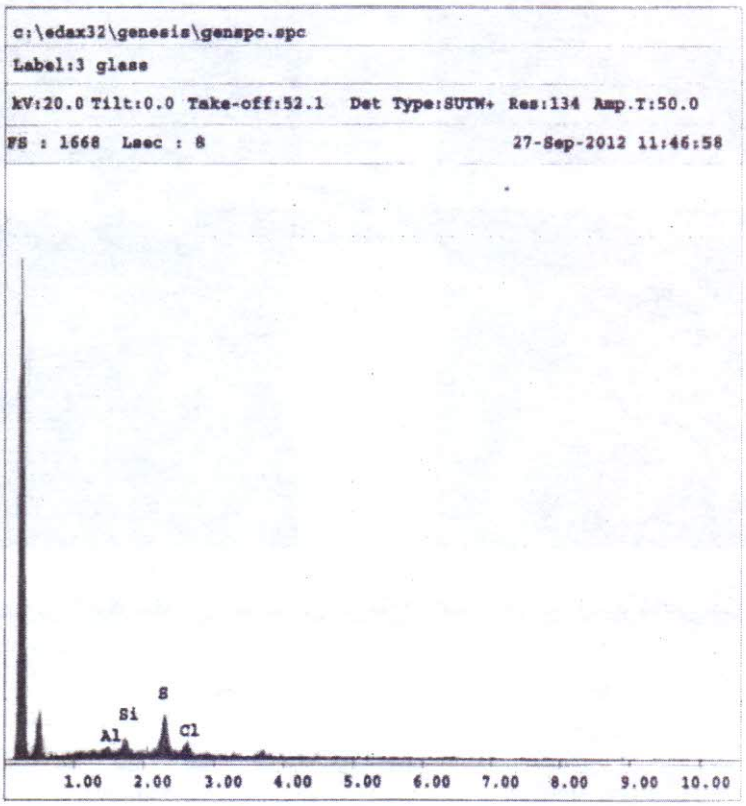


الشكل يوضح التآكل في الزجاج الاثري[١٠]

[10] http://www.Lasers in the Conservation of Cultural Heritage.htm

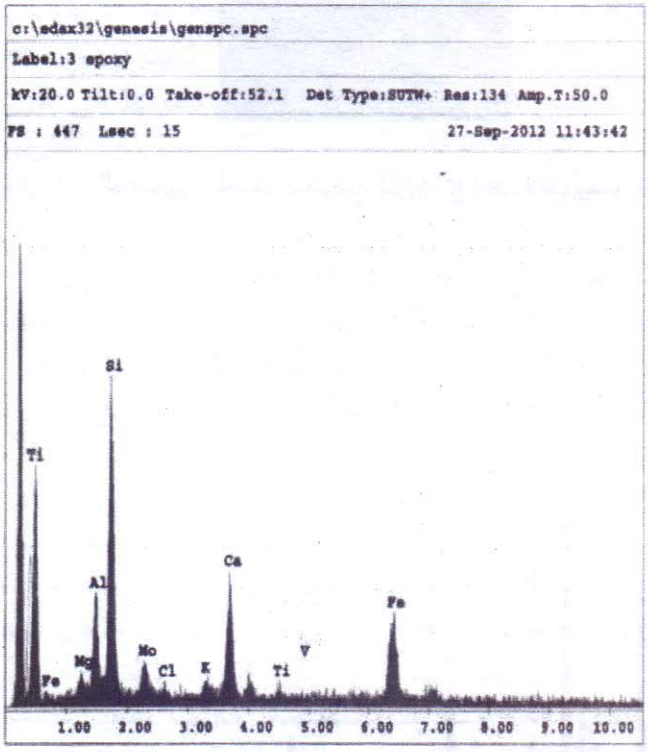


التصوير الميكرسكوبي لعينات من الزجاج وعينات مرمه ترميم خاطئ قبل التنظيف



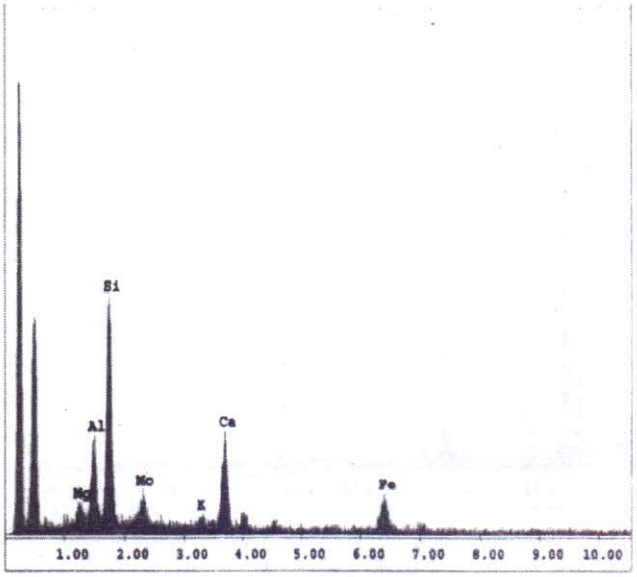
Element	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
Al2O3	8.91	6.79	0.0341	0.9574	0.7464	1.0110
SiO2	17.84	23.07	0.0670	0.9853	0.8051	1.0133
SO3	61.02	59.21	0.2111	0.9701	0.8846	1.0066
Cl2O	12.23	10.93	0.0739	0.9279	0.7988	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
AlK	20.76	14.49	11.47	1.43
SiK	37.76	14.38	7.29	2.63
S K	101.77	15.97	3.84	6.37
ClK	33.20	15.74	8.18	2.11



Element	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
MgO	3.17	6.38	0.0095	1.0160	0.4880	1.0046
Al2O3	11.96	9.51	0.0386	0.9861	0.6145	1.0065
SiO2	33.33	44.94	0.1093	1.0147	0.6892	1.0031
Mo2O3	6.50	2.20	0.0376	0.8065	0.8935	1.0042
Cl2O	0.65	0.61	0.0043	0.9606	0.8270	1.0085
K2O	1.70	1.46	0.0126	0.9653	0.9085	1.0204
CaO	13.98	18.90	0.0871	0.9877	0.9337	1.0107
TiO2	2.01	2.03	0.0105	0.9022	0.9497	1.0211
V2O5	0.33	0.15	0.0016	0.8833	0.9654	1.0328
Fe2O3	27.27	13.83	0.1697	0.8992	0.9895	1.0000
Total	100.00	100.00				

التصوير الميكرسكوبي للزجاج بعد التنظيف



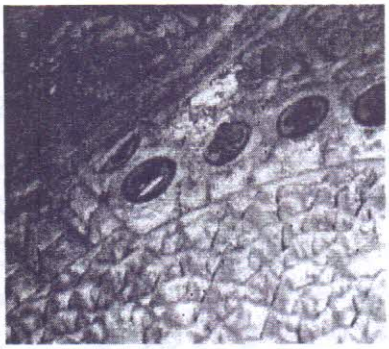
Element	Wt %	Mol %	K-Ratio	Z	A	F
MgO	3.86	7.27	0.0124	1.0106	0.5228	1.0056
Al2O3	13.75	10.23	0.0463	0.9808	0.6440	1.0077
SiO2	37.60	47.48	0.1257	1.0093	0.7059	1.0035
Mo2O3	8.44	2.67	0.0485	0.8017	0.8930	1.0045
K2O	1.96	1.58	0.0144	0.9599	0.9031	1.0203
CaO	16.43	22.24	0.1078	0.9822	0.9287	1.0058
Fe2O3	17.96	8.53	0.1109	0.8940	0.9877	1.0000
Total	100.00	100.00				

Element	Net Inte.	Bkgd Inte.	Inte. Error	P/B
MgK	11.98	3.99	10.14	3.00
AlK	43.87	5.18	4.57	8.47
SiK	110.00	4.66	2.70	23.60
MoL	16.79	5.70	8.60	2.95
K K	8.43	3.55	12.71	2.37
CaK	57.18	2.96	3.78	19.33
FeK	26.71	1.11	5.48	24.07

٥-تنظيف الليزر للجص

للزجاج المؤلف بالجص في نوافذ العصور الاسلامية أثرت العوامل الجوية وعوامل التعرية تأثير سلبي على كلا من الزجاج والجص ويعتبر غاز ثانى أكسيد الكبريت من أكثر الغازات الجوية ضرراً بالمشغولات الأثرية بوجه عام ، حيث يتحول فى الجو الرطب إلى حمض الكبريتيك وأيضاً غاز كبريتيد الهيدروجين H2S الذي يؤثر بصورة سيئة على الاسطح الجصية ، حيث يؤدى إلى تحولها إلى اللون الأسود ويؤثر على كبريتات الكالسيوم في مصفوفة الجص، واحاطت بجزيئات الكربون مما أدى الى إضعاف المادة وفي أسوأ الحالات إلى فقدان المواد. في هذه الحالة يكون التدخل بالترميم أمر ملح من أجل تحقيق الاستقرار في حالة حفظ العمل الفني. ويقوم شعاع الليزر بالتنظيف لكليهما. ومن أهم المشاكل التي تعاني منها هذه الزخارف ارتفاع نسبة الأملاح التي تسربت إلى أساسات الرباط عبر المياه الأرضية والمحتوية على نسب عالية من الأملاح الذائبة والتي ترسبت على أسطح تلك المنشآت بعد تبخر تلك المياه نتيجة ارتفاع معدلات الحرارة في الوسط المحيط. مما نتج عنه تفتت للمكونات المعدنية التي تتألف منها الزخارف الجصية . حيث تسببت كل من الأملاح الذائبة فى الماء وكذلك الأملاح المتبلورة فى إحداث تلف فيزيائي تتمثل مظاهر تلفه في تبلور وإعادة تبلور الأملاح بصفة دورية وما ينشأ عن ذلك من ضغوط تسمى بضغوط التبلور crystallization pressures والتي تؤدى إلى حدوث تشققات وشروخ وتفتيت مكوناتها المعدنية كما أن هذه الزخارف في بعض الأجزاء عبارة عن طبقه هشة تتساقط بمجرد لمسها [١١].بالإضافة إلي تأثير التلوث الجوى متمثلاً في الكم الهائل من الأتربة والإتساخات المتراكمة على سطح الزخارف وبين ثناياها بصورة كبيرة تخفى الصورة معالم وجمال تلك الزخارف بالإضافة إلي ما أدت إليه من تلف عضوي deterioration Biology حيث ظهرت العديد من البقع مختلفة الألوان ما بين الأسود و الأخضر نظراً لتوافر نسبة عالية من الرطوبة الناتجة من المياه الأرضية مما أدي إلي توافر الظروف المعيشية لهذه الكائنات الحية الدقيقة

[١]- هالة عفيفي محمود- دور التقنيات الحديثة في الأكتشافات الأثرية-بحث منشور -مؤتمر الآثار بين الواقع والطموح.



الشكل يوضح تأثير العوامل الجوية وتهالك الجص في محراب رباط أحمد بن سليمان الرافعي[١٢]

سادسا:- تنظيف الرصاص (في الزجاج المؤلف بالرصاص).

نتيجه لوجود عوامل التآكل والاكسدة في الهواء والماء والتربة التي يحتفظ فيها بالقطع الاثرية لالاف السنين

هذه هي المؤثرات الاساسية على اعواد الرصاص المستخدمة في النوافذ الاثرية فلابد من إزالة هذه الطبقات قبل وضع دهانات واقية لمنع التفاعل مرة أخرى

وقد استخدم ليزر

Nd:YAG lasers – Qswitch laser pulses ranging between 70-100 ns

سابعا:- تنظيف الملونات المستخدمة على جميع انواع الزجاج.

حيث كان يستخدم نترات الفضة وملونات اساس تركيبها من السيليكا (تركيبها مشابه لتركيب الزجاج) واستخدام التذهيب بشكل كبير. وبسبب التلوث البيئي تعاني الملونات والطلاءات من عملية معقدة من التدهور، على شكل تقرحات صغيرة وفقدان طبقة التذهيب في أغلب الاحيان.

وبدلا من استخدام المواد الكيميائية يتم استخدام شعاع الليزر في عملية تنظيف مثالية يتم من خلالها التحكم فى درجة الحرارة لطبقة التذهيب (سمكها يقاس بالميكرون).

Nd:YAG lasers – Qswitch laser pulses ranging between 70-100 ns

[12] -http://www.brooonzyah.net/vb/f62/

النتائج

١-أوضحت الدراسة أهمية شعاع الليزر لمجال الترميم بشكل عام ولترميم الزجاج بشكل خاص.

٢-توصلت الدراسة إلي القياسات المثلي للتعامل مع الزجاج الأثري عند طول موجي ١٠٦٤ وكثافة طاقة ٠,٨ جول .سم-٢ وخمس نبضات في الثانية والتردد ٧٠-١٠٠ نانوثانية.

التوصيات:

١-توجيه الأبحاث العلمية إلي استخدام تكنولوجيا الليزر في ترميم الزجاج وتطبيقاتها المختلفة.

٢-توصي الدراسة بأهمية إنشاء معمل لتكنولوجيا الليزر خاص بأعمال الترميم للأعمال التراثية.