

استخدام تقنيات الليزر فى تنظيف بقع الـ Foxing من المخطوطات الورقية

د/سوسن سيد درويش • د/هشام محمود إمام • أ/ أيمن صلاح طه محمد •

ملخص البحث

تتعرض المخطوطات الورقية لكثير من العوامل المتلفة كالتلوث الجوى وما يحمله الهواء من جراثيم الفطريات وبويضات بعض الحشرات، وهى العوامل التى تتفاعل مع المكونات الداخلية للمخطوط مسببة العديد من المظاهر التلف المتنوعة مثل البقع اللونية الكيميائية والبيولوجية، وأهمها بقع الـ Foxing، وهى البقع التى يكثر وجودها على صفحات المخطوطات الورقية. ونظراً لما ينتج عن استخدام المذيبات العضوية ومواد التبييض المستخدمة فى إزالة هذه البقع من أضرار لمكونات المخطوطات وسُميتها، تم اللجوء لتقييم إزالتها باستخدام شعاع الليزر، لدراسة مدى قدرته على الحفاظ على الألياف السيليلوزيه، وتقليل معامل أكسدتها بعد المعالجة. ويعد استخدام تقنية Yag laser من أفضل التقنيات المستخدمة فى الترميم نظراً لتكلفتها القليلة، وكفاءتها العالية، وإمكانية ربط هذه التقنية بجهاز الحاسب الآلي. وقد أتبع فى البحث المنهج التجريبي لتقييم استخدام الليزر فى تنظيف بقع الـ Foxing على عينات من المخطوطات الورقية المصنعة من خامات مختلفة والمصابة بهذا النوع من البقع بهدف الوصول لأفضل طرق تنظيف المخطوطات مع الاستعانة بوسائل الفحص المختلفة للتقييم مثل الميكروسكوب الإلكتروني الماسح

(Scanning Electron Microscopy)، والأستريو ميكروسكوب (Stereo Microscope)، والتحليل بالأشعة تحت الحمراء (FTIR-ATR)، والتحليل بتقنية الأستطيف الإنهيارى المستحث بواسطة الليزر (LIBS). واختتم البحث بمناقشة النتائج والتوصيات الخاصة باستخدام الليزر فى تنظيف بقع الـ Foxing من المخطوطات.

الكلمات الافتتاحية : المخطوطات - الليزر - الحديد - البقع - الخواص - الأكسدة .

قسم الترميم - كلية الآثار - جامعة القاهرة

المعهد القومى لعلوم الليزر - جامعة القاهرة

المعهد العالى للسياحة والفنادق وترميم الآثار بالإسكندرية

١- المقدمة

غالباً ما تعاني المخطوطات والمطبوعات الورقية القديمة من الضرر الناتج عن نمو العديد من أنواع الكائنات الحية الدقيقة في ظروف الرطوبة المرتفعة مثل الفطريات والبكتيريا والأكتينوميستات. وتعد الفطريات أخطر أنواع هذه الكائنات تأثيراً على المخطوطات والمطبوعات الورقية القديمة لما تفرزه من العديد من أنواع الإنزيمات السليوليزية التي تقوم بتحلل سلاسل السليلوز - المكون الرئيسي للورق- إلى سلاسل قصيرة وهو ما يُفقد الورق خواصه الميكانيكية. إضافة إلى ما تقوم به الفطريات من تكسير للعناصر المعدنية الموجودة في الورق وما عليه من أضرار أو ألوان لاستخدامها في عمليات التمثيل الغذائي الخاصة بها. وخلال هذه العملية تنتج هذه الفطريات بضعاً ملونة على الأوراق القديمة، وتحتوى هذه البقع على نواتج التمثيل الغذائي الناتج عن الفطر الذي يقوم بتحويل أيونات المعادن اللالونية إلى بضع ملونة مرئية^(١)، كما ارتبط دور هذه الفطريات في إحداث بقع الـ Foxing بوجود الحديد كمصدر للحبر الحديدي في الورق حيث تقوم الفطريات بأكسدة الحديد II إلى الحديد III وهو ما يؤدي إلى انتشار البقع في الصفحات بدأ من أحرفها إلى الداخل حيث تظهر في شكل نقط بنية دقيقة الحجم تختلف في مظهرها عن بقع صدأ الحديد أو بقع تحلل اللجنين أو بقع الحموضة الزائدة وجميعها ذات لون بني (شكل ١).

ويرجع تاريخ البحث في طبيعة بقع الـ Foxing لسنة ١٩٣٠م والتي زادت بتطور تكنولوجيا صناعة الورق والإفراط من استخدام مواد التبييض الكيميائية أثناء عملية الصناعة^(٢) مثل مادة كلوريت وهيبوكلوريت الصوديوم التي استخدمتا في تبيض اللب المحضر من القطن والكتان^(٣). وبناءً على ذلك فإن الأوراق التي صنعت من قماش الخرق Rag Paper واستخدمت في صناعة المطبوعات والمخطوطات الورقية منذ القرن السادس عشر ١٦ - التاسع عشر ١٩ الميلادي ظهر عليها هذا النوع من البقع^(٤). هذا وقد تم تصنيف بقع الـ Foxing إلى ثلاثة أنواع^(٥) طبقاً لما ذكره

(^١) Anowska,H.M.S .,Moomaw,R.W. , "Laser stain removal of fungus – induced stains from paper" , JAIC, Vol 33,No.1, Article 2, 1994, pp 25- 32

(^٢)Rebrikova,N.L.,Manturovskaya,N.V., " Foxing A new approach to an old problem, restauratur, vol 21, No. 1, 2000, pp, 85- 94.

(^٣) Shaikh, A., Pai, R. H. , Balasubra,M. and Khande ,V . G ., "Anaerobic digestion of cotton and linseed plant Stalks for the preparation of pulp and paper, cellulotics: pulp Fiber and environmental aspects, India, 1993, p. 77.

(^٤) Stark,C., " Book ologist,s Glossary of Terms: foxing , the Book ologist,s , No 1, Issn 1544, march26, 2003, pp 1-3 .

(^٥) John ,H ., Peter ,D. , Archives Damage atlas, Atool for assessing damage , 2010, p 42

(1984, Cain and Miller 1982) النوع الأول باسم بولس (Bulls eye) وهو نوع مستدير وصغير ذو مركز أسود داكن ودوائر وحلقات متحدة المركز (٦) ويحتوى مركز البقعة على نسب عالية التركيز من الحديد ويقل فى الأطراف حيث تصبح فى المنتصف أكثر إسودادا وهشاشية (٧). كما يُعرف النوع الثانى باسم قشر الثلج (Snow flake) وهو نوع ذو حافة صدفية وشكلها غير منتظم وألوانها تتراوح بين المحمر إلى الأصفر وفى بعض الأحيان لا تظهر هذه الألوان فى الضوء العادى ويظهر هذا النوع تحت الأشعة فوق البنفسجية بلون أبيض ثلجى ويحتوى على نسب عالية من الحديد عن باقى الأجزاء المحيطة به وبالفحص ظهرت دلائل على النشاط الفطرى فيه . أما النوع الثالث فيمثل البقع المتداخلة مع الـ (Stain confused with foxing) وهو نوع ذو ألوان مختلفة يصيب الكتب والمطبوعات الورقيه وغالباً ما يظهر بلون مصفر فى الضوء المرئى وتحت الأشعة فوق البنفسجية ويعطى لون أبيض مزرق إلى أبيض وظلال من الإشعاعات البرتقالية الصفراء حول النص وهى الألوان التى تمثل ألوان الجراثيم الفطرية المتواجدة على سطح الورق والمتغلغله فيه (٨) (٩) (١٠).

وبناءً على ذلك فإن تنظيف بقع الـ Foxing تعتبر من الخطوات الهامة والأساسية فى عمليات ترميم وصيانة المخطوطات الأثرية و ذلك ليس لتحسين المظهر الجمالى فحسب بل لمنع امتداد تأثيرها المتلف وإبراز حالتها الأصلية والحفاظ عليها للأجيال القادمة. ونظراً لما ينتج عن استخدام المذيبات العضوية ومواد التبييض المستخدمة فى إزالة بقع الـ Foxing من أضرار لمكونات المخطوطات وسميتها، جاء التفكير فى إزالتها باستخدام تقنية الليزر - التى أثبتت كفاءة عالية فى إزالة العديد من أنواع البقع الأخرى - وتقييم دورها فى الحفاظ على الألياف السيليلوزيه سليمة، وتقليل أكسدة الألياف الورقية بعد المعالجة .

(٦) Mary – Lou , E. Florian , “ The role of the conidia of fungi In fox spots , studies in conservation , 41, 1996, pp 65- 75 .

(٧) Rajmalwar ,S.A. , and Kharbade ,B . V . , " Biotechnological approach for removing foxing stains in library and archival paper materials , unit of national research laboratory for conservation of cultural property , ministry of culture , Guvt , of India , conservation of cultural property in india , vol 38 , 2009 , pp 57- 60 .

(٨) Cain , C . Eugene . . " Classification of Foxing " Japan.1982.

(٩) Antoinette,O. , Jonathan,D. ,” Foxing – Wiki , Book & paper conservation , Catalog BP Chapter B , 2009, PP 1- 29 .

(١٠)Hussam el-Din Abdel Hamid Mahmoud (Prof .faculty of archeology – Cairo University) - .Lectures, ٢٠١٢.

٢- المواد والطرق المستخدمة:

١-٢- أشعة الليزر المستخدمة فى التنظيف

تم إستخدام جهاز Nd : YAG laser ذو الأطوال الموجية المختلفة موديل PL 7010, NY81.30, USA ، حيث استخدم أربعة أنواع من أشعة الليزر مختلفة الأطوال الموجية كما يلى :

- 1st harmonic وهو شعاع ليزر (IR) ذو الطول الموجى 1064 nm بطاقة ٣٠٠ مللى جول بمعدل أعلى من ٣٠ هيرتز .
- 2st harmonic وهو من نوع ليزر (Green) ذو الطول الموجى ٥٣٢ nm مضافاً له Crystal KTP (Potassium tri phosphate) ليعطى شعاع من الليزر الأخضر .
- 3st harmonic وهو ليزر (UV) ذو الطول الموجى 355nm مع إضافة Crystal DKDP ويسمى بـ (the third harmonic) .
- 4st harmonic وهو ليزر (UV) ذو الطول الموجى 266nm مع إضافة Crystal KDP ويسمى بـ (the fourth harmonic) (١١) .

٢-٢- تجهيز العينات الورقية

تم تجهيز العينات الورقية المصنعة حديثاً والمصابة ببقع الـ Foxing على النحو التالى (شكل ٢) :

- العينة A صنعت من لب القطن.
- العينة B صنعت من لب الكتان.
- العينة C صنعت من (لب قطن + كتان + خشب) بنسبة ١:٢:٢
- العينة D وهى عينة قديمة مصنوعة من لب الكتان يرجع تاريخها إلى سنة ١٨٢٢م ومصابة ببقع الـ Foxing تم أخذها من بعض الفواصل المتساقطة من المجلد الرابع لمخطوط وصف مصر بالمكتبة المركزية للمخطوطات الإسلامية بالسيدة زينب رضى الله عنها.

٢-٣- طريقة التنفيذ والمعالجة

تم استخدام أشعة الليزر فى تنظيف بقع الـ Foxing الموجودة على الأوراق المصابة بتوجيه أطوال موجية مختلفة (١٠٦٤-٥٣٢-٢٦٦-٣٥٥ نانوميتر) إلى البقعة بدرجات متفاوتة من الشدة بدءاً باستعمال طاقة صغيرة تزداد تدريجياً بزيادة تركيز شعاع الليزر للحصول على معدل آمن من النبضات التى تسمح

بإزالة البقع دون التأثير على خواص وألياف الورق، (شكل ٣). و توضح الجداول (١-٤) ظروف التعريض المختلفة لأشعة الليزر (٥٣٢ نانوميتر) المستخدمة مع العينات الورقية المصابة ببقع الـ Foxing والتي أعطت أفضل النتائج في إزالة البقع (شكل ٤).

جدول رقم (١) يوضح ظروف التعريض المختلفة لأشعة الليزر عند

Sample no.	Wave length (λ)	Energy fluence $J\text{ Cm}^2$	Focused or Un Focused Beam	No. of pulses	Pulse duration	Beam Shape	Work distance W.D.
A1	532 nm	40m.j	Focused 6mm	5HZ 3min	10ns*	circle	15cm
A2	532nm	40m.j	Focused 6mm	2HZ 2min	10ns	circle	15cm

الطول الموجي ٥٣٢ نانوميتر للعيينة A

Sample no.	Wave length (λ)	Energy fluence $J\text{ Cm}^2$	Focused or Un Focused Beam	No. of pulses	Pulse duration	Beam shape	Work distance W.D.
B1	532nm	20 m.j	Unfocused 2mm	1HZ 30sec	10ns	Circle	15cm
B2	532nm	40m.j	Focused 6mm	5HZ 4min	10ns	Circle	15cm

* ns = عدد النبضات لكل ثانية

جدول رقم (٢) يوضح ظروف التعريض المختلفة لأشعة الليزر عند الطول

الموجى ٥٣٢ نانوميتر للعينة B
جدول رقم (٣) يوضح ظروف التعريض المختلفة لأشعة الليزر عند الطول
الموجى ٥٣٢ نانوميتر للعينة C

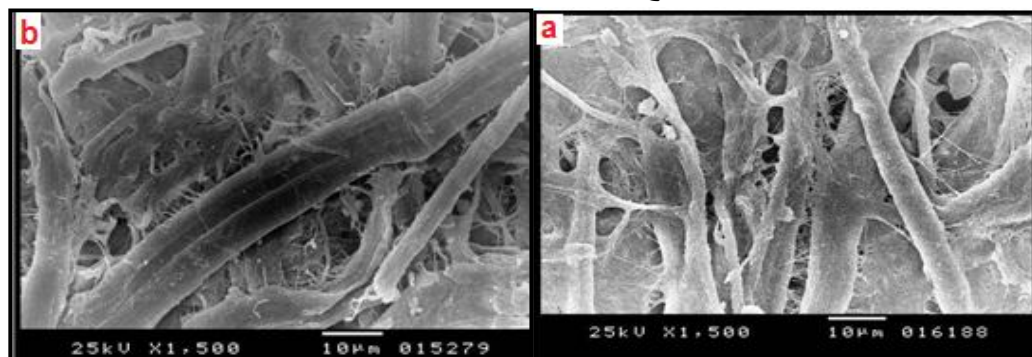
Sample no.	Wave length (λ)	Energy fluence $J\text{ Cm}^2$	Focused or Un Focused Beam	No. of pulses	Pulses duration	Beam shape	Work distance W.D.
C1	532nm	40m.j	Focused 6mm	5HZ 4min	10ns	circle	15cm
C2	532nm	50m.j	Focused 2mm	10HZ 1min	10ns	circle	15cm

جدول رقم (٤) يوضح ظروف التعريض المختلفة لأشعة الليزر عند الطول
الموجى ٥٣٢ نانوميتر للعينة D

Sample no.	Wave length (λ)	Energy fluence $J\text{ Cm}^2$	Focused or Un Focused Beam	No. of pulses	Pulses duration	Beam shape	Work distance W.D.
D1	532nm	40m.j	Focused 6mm	5HZ 4min	10ns	circle	15cm
D2	532nm	40m.j	Focused 2mm	10HZ 1min	10ns	circle	15cm

٣- مناقشة النتائج

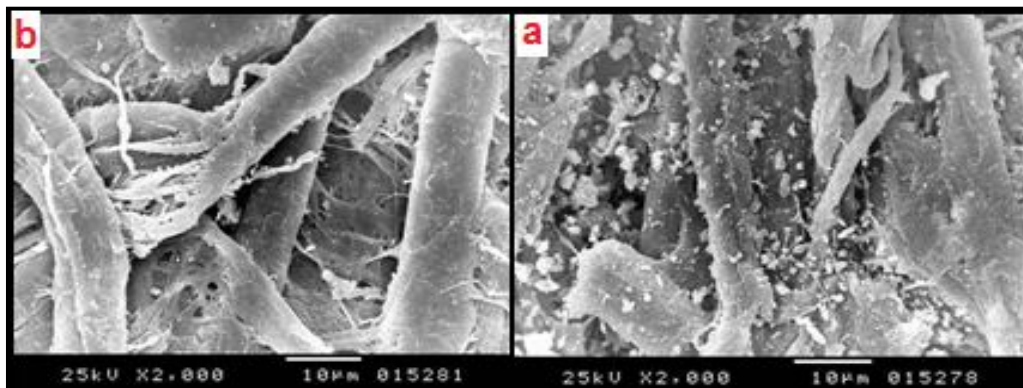
أوضحت نتائج التنظيف باستخدام أشعة الليزر من نوع الياج عند طول موجى 532 نانوميتر وبقوة 40 مللى جول نتائج مرضية و كفاءة عالية فى إزالة بقع الـ foxing الموجودة على سطح الأوراق للأنواع الأربعة من الأوراق محل الدراسة التجريبية من البحث. وتبين من خلال التقييم البصري للعينات الورقية المصابة ببقع الـ foxing إزالة البقع الموجودة على الأوراق فى جميع ظروف التشغيل ولوحظ عند زيادة تركيز شعاع الليزر باستخدام عدسات خاصة أن له تأثير كبير على ألياف الورق وربما تصل إلى درجة الاحتراق للأوراق لذا استخدم شعاع ليزر ذو قوة أقل تزداد تدريجياً إلى أن نحصل على نتيجة جيدة فى إزالة البقع دون التأثير على ألياف الورق (شكل ٤). وتبين من خلال التقييم من خلال الفحص بجهاز الأستريوميكروسكوب (١٢) مدى نجاح عملية التنظيف بأشعة الليزر دون التأثير على ألياف الورق (شكل ٥). وأوضح التقييم بجهاز الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM (شكل رقم ٦- ٧) (١٣) للعينات الورقية المصنعة حديثاً من لب القطن والكتان والمصابة ببقع الـ Foxing، أن أشعة الليزر نجحت فى إزالة البقع البنية الموجودة على الأوراق.



شكل رقم (٦) يوضح الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح لعينة ورقية (a) قبل عملية التنظيف بأشعة الليزر بتكبير X1٥٠٠، (b) بعد عملية التنظيف بتكبير X ١٥٠٠.

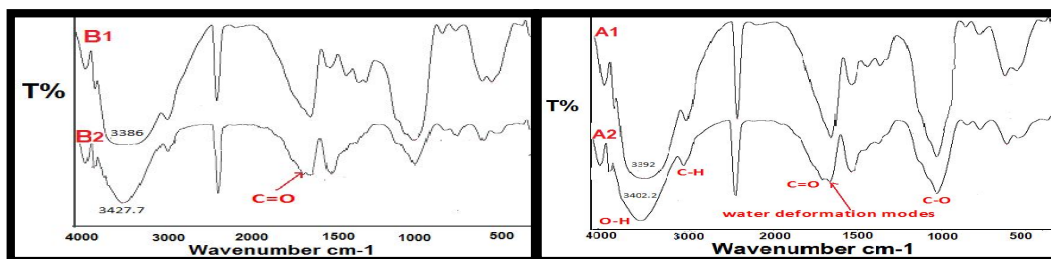
(١٢) معامل قسم ترميم المخطوطات - مكتبة الإسكندرية .

(١٣) وحدة الميكروسكوب الإلكتروني - كلية العلوم - جامعة الإسكندرية .

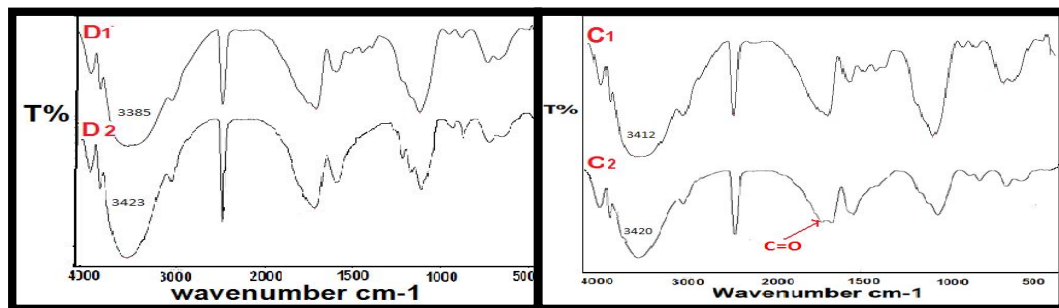


شكل رقم (٧) توضح الفحص بالميكروسكوب الإلكتروني الماسح للعينة الورقية قبل عملية التنظيف بأشعة الليزر بتكبير (X 2000 ، b) بعد عملية التنظيف بتكبير X 2000.

هذا وقد تبين من خلال التقييم باستخدام الأشعة تحت الحمراء FTIR-ATR أن المعالجة بالليزر تؤدي إلى انخفاض حاد في شدة الامتصاص في مجموعة O-C في المنطقة (1160-1030 cm⁻¹) يصاحبه انخفاض آخر في مجموعة H-O عند O ≈ (3390 cm⁻¹) ويرجع السبب في ذلك إلى أن ذرات الكربون المتواجدة في حلقة السليلوز C₁، C₂...C₆ والتي تحمل مجموعات الهيدروكسيل تتحول تدريجياً عن طريق الأكسدة إلى مجموعات كربونيل، وقد تم تأكيد هذه النتائج عن طريق ظهور مناطق امتصاص جديدة عند (1708 cm⁻¹) واتساع شريط الامتصاص عند (1641 cm⁻¹)، شكلي (٨، ٩) كما يمكن أن يعزى تلف العينات الورقية نتيجة لوجود أيونات الحديد في منطقة الإصابة ببقع الـ Foxing والتي تعمل على تحفيز عملية الأكسدة الناتجة عن المعالجة بأشعة الليزر.



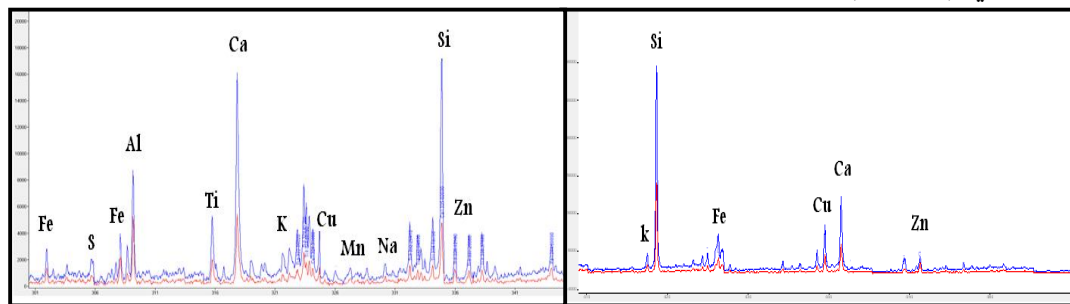
شكل رقم (٨) يوضح التحليل بالأشعة تحت الحمراء FTIR للعينات غير المعالجة ببقع الـ Foxing (A1) والعينات المعالجة من البقع (A2) (B1 & A1) و(B2 &



شكل رقم (٩) يوضح التحليل بالأشعة تحت الحمراء FTIR للعينات غير المعالجة ببقع الـ Foxing (D1 & C1) والعينات المعالجة من البقع (D2 & C2)

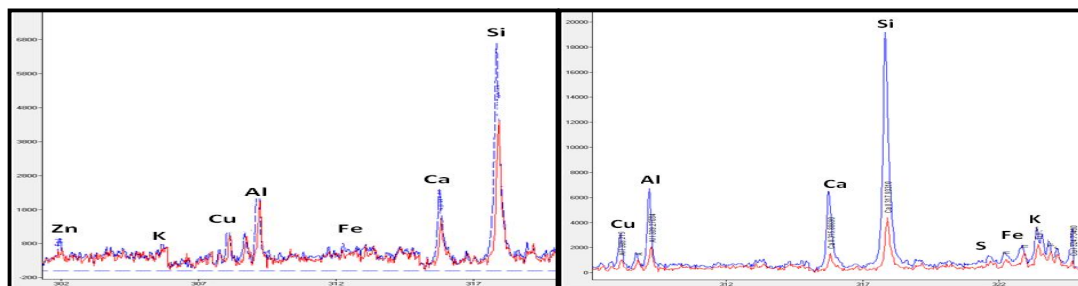
تمت معالجة العينات الورقية باستخدام تقنية (LIBS) طبقاً لنظام التشغيل التالى:
Nd : YAG Laser, 1064 nm , Energy = 102 mj , Gate delay = 1 ms , Gate width = 10 ms , Single shot (1- 12) , 10 shot (13- 15).⁽¹⁴⁾

وقد تبين من خلال تقييم العينات المصابة ببقع الـ Foxing وجود بعض العناصر فى تركيب الورق مثل الألومنيوم Al، الكالسيوم Ca، التيتانيوم Ti، الحديد Fe، النحاس Cu حيث زادت نسب هذه العناصر خاصة الحديد والنحاس فى العينات المصابة ببقع الـ Foxing وقلت فى العينات المعالجة بأشعة الليزر، شكلي (١٠،١١).



Wavelength (nm) ● قبل - ● بعد

شكل رقم (١١) يوضح التحليل باستخدام تقنية (LIBS) للعينات الورقية A & B المعالجة بأشعة الليزر



Wavelength (nm) ● قبل - ● بعد

شكل رقم (١٣) يوضح التحليل باستخدام تقنية (LIBS) للعينات الورقية C& D المعالجة بأشعة الليزر

كما تبين من خلال قياس الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق (١٥) جدول (٥) نجاح المعالجة بأشعة الليزر في زيادة خاصية البياض للأوراق المصابة والتقليل من درجة العتامة بينما تأثرت خواص الشد والتمزق والانفجار سلبياً مما يعطى مؤشراً على أن المعالجة بأشعة الليزر تؤثر بالإيجاب على الخواص الضوئية للأوراق المعالجة وتقلل من الخواص الميكانيكية لها مما يستلزم إجراء عمليات التقوية بعد الانتهاء من هذه المعالجات.

جدول رقم (٥) يوضح قياس الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق غير المعالجة والمعالجة بأشعة الليزر

العينات	قوة الشد Kg		مقاومة الانفجار k \ lbn		مقاومة التمزق g		درجة البياض %		درجة العتامة %	
	Value	Change %	Value	Change %	Value	Change %	Value	Change %	Value	Change %
A ₁ *	2.3	0.00	20.0	0.00	120.0	0.00	60.3	0.00	92.3	0.00
A ₂	2.2	-4.54	19.2	-4.16	118.4	-1.35	62.5	+3.52	90.5	-1.98
B ₁	3.4	0.00	18.5	0.00	50.5	0.00	51.2	0.00	99.0	0.00
B ₂	3.1	-9.67	17.3	-6.93	47.7	-5.87	53.1	+3.57	98.2	-0.81
C ₁	3.9	0.00	30.2	0.00	105.4	0.00	50.1	0.00	97.8	0.00

(١٥) معامل الفحص الطبيعي - شركة راكتا لصناعة الورق - الإسكندرية .

C ₂	3.4	-14.70	28.9	-4.49	103. 6	-1.73	52.3	+4.20	95.4	-2.51
D ₁	0.243	0.00	2.5	0.00	16.0	0.00	36.1	0.00	78.4	0.00
D ₂	0.197	-23.35	1.9	- 31.57	14.6	-9.58	40.5	+10.8 6	76.4	-2.61

*A₁=control of sample A, B₁= control of sample B, C₁= control of sample C & D₁= control of sample D.

الشكر والتقدير

يتقدم الباحثون بجزيل الشكر والتقدير إلى الأستاذ الدكتور/ حسام الدين عبد الحميد محمود أستاذ بقسم ترميم الآثار - كلية الآثار - جامعة القاهرة ، والأستاذ الدكتور/ عبد المجيد محمد قمره، الأستاذ بمعلم الميكروبيولوجي بقسم أمراض النبات كلية الزراعة- جامعة الإسكندرية، ، وإلى الأستاذ الدكتور / محمد أبو السعود الأستاذ بقسم أمراض النبات - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية ، وإلى الأستاذ الدكتور /أحمد رفيق الأستاذ بقسم تكنولوجيا صناعة الأغذية - كلية الزراعة - جامعة الإسكندرية على مساعدتهم في البحث .

قائمة المراجع :

- 1- Anowska, H.M.S ., Moomaw,R.W. , "Laser stain removal of fungus – induced stains from paper", JAIC, Vol 33,No.1, Article 2, 1994, pp 25- 32
- 2- Roberts, M.T. , “ Foxing book binding and the conservation of books : Adictionary of descriptive , 2009,pp 1-4 .
- 3- Corte, H. , Cellulose Water inter actions" Hand Book of paper Science, the Raw materials and processing of paper making, Vol 1, New York, 1980, pp 14- 15
- 4- Cain , C . Eugene ." Classification of Foxing " , Japan.1982.
- 5- Yao,N., Stanley,T. , "Foxing on 18th century paper:A Lithograph Print” Princeton University, 2006,PP 1-20
- 6- Rebrikova,N.L.,Manturovskaya,N.V., “ Foxing Anew approach to an old problem, restauratur, vol 21, No 1, 2000, pp, 85- 94.
- 7- Shaikh, A., Pai, R. H. , Balasubra,M. and Khande ,V . G ., "Anaerobic digestion of cotton and linseed plant Stalks for the preparation of pulp and paper, cellulotics: pulp Fiber and environmental aspects, India, 1993, p. 77.
- 8- Stark,C., “ Book ologist,s Glossary of Terms: foxing , the Book ologist,s , No 1, Issn 1544, march26, 2003, pp 1-3 .
- 9- Kaplan,J.,Jeffrey, L.k. ,And Robert,N., Method to remove foxing stains from paper &celluloid items, pulp&paper News service,2007,pp1-5
- 10- Hussam el-Din Abdel Hamid Mahmoud (Prof .faculty of archeology – Cairo University) - .Lectures, ٢٠١٢.
- 11- Manso,M., Pessanha,S .,And Oliveira,M., Characterisation of foxing stains in eighteenth to nineteen the century drawing using non- destructive techniques, © springer- verlag, 2009, pp2029-2036

12- Zarema,R. , wirth,M., Suppression of foxing in historical books using in painting , Dept- computing and information science, university of Guelph, canada, © springer, 2009, pp 855- 864

13- Kollia,Z.,Sarantopoulou,E.,Cefalas,A.,Kobe,S.,And Samardzija,Z.,Nanometric size controle and treatment of historic paper manuscripts and prints with laser light at 157 nm, Applied physics A, Material science&processing , 2004, pp 1-4

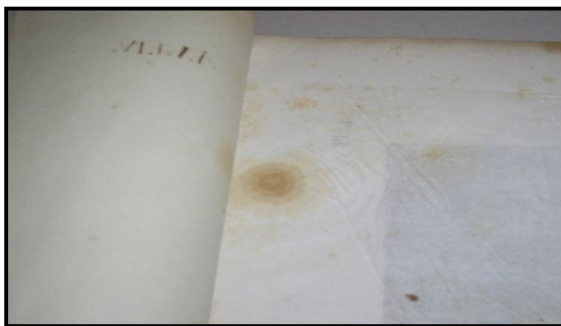
14- Kollia,Z.,Sarantopoulou,E.,Cefalas,A.,Kobe,S.,And Samardzija,Z. , Removing foxing stains from old paper at 157nm , Applied surface science, El sevier, 2002,pp 1-6

15- John ,H ., Peter ,D. , Archives Damage atlas, Atool for assessing damage , 2010, p 42

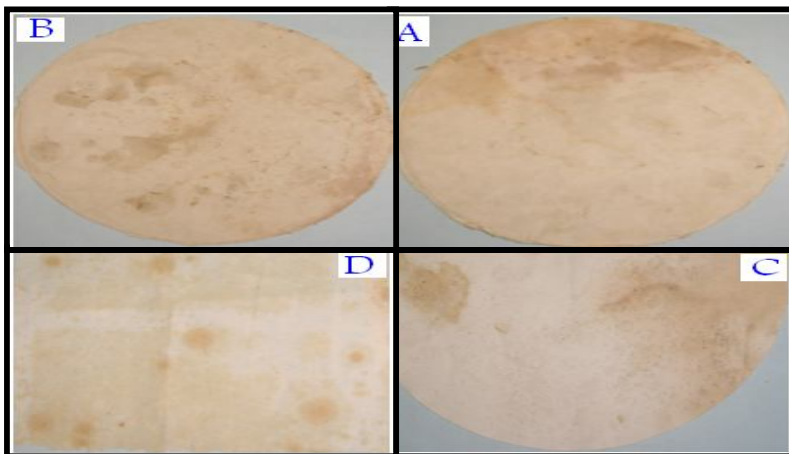
16- Mary – Lou , E. Florian , “ The role of the conidia of fungi In fox spots , studies in conservation , 41, 1996, pp 65-75 .

17- Rajmalwar ,S.A. , and Kharbade ,B . V. , " Biotechnological approach for removing foxing stains in library and archival paper materials , unit of national research laboratory for conservation of cultural property , ministry of culture , Guvt , of India , conservation of cultural property in india , vol 38 , 2009 , pp 57- 60 .

18- Antoinette,O. , Jonathan,D. ,” Foxing – Wiki , Book & paper conservation , Catalog BP Chapter B , 2009, PP 1-29 .



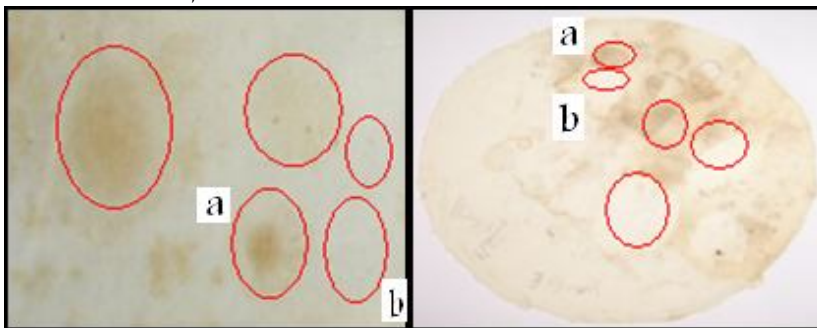
صورة رقم (١) توضح ظهور بقع الـ foxing على صفحات الورق



صورة رقم (٢) يوضح العينات الورقية A,B,C&D



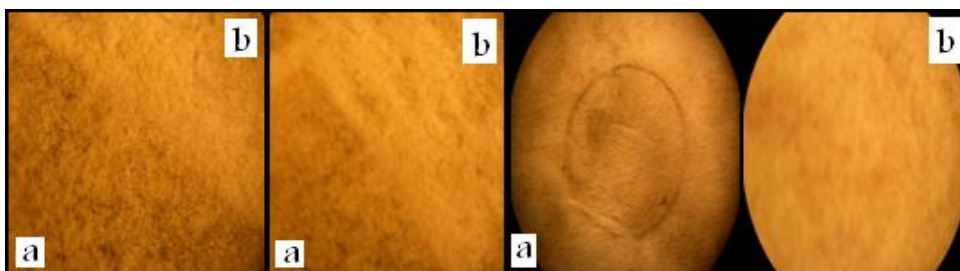
صورة رقم (٣) يوضح تنظيف بقع الـ foxing باستخدام ليزر Green ذات الطول الموجي ٥٣٢ نانوميتر



بعد التنظيف (b)

قبل التنظيف (a)

صورة رقم (٤) يوضح نتيجة التنظيف بأشعة الليزر



بعد التنظيف (b)

قبل التنظيف (a)

صورة رقم (٥) يوضح ألياف الورق قبل وبعد المعالجة بأشعة الليزر