

استخدام تقنيات الليزر في تنظيف البقع الفطرية من المخطوطات الورقية

& عبد اللطيف حسن أفندي**

عبد الناصر عبد الرحمن الزهراني

أيمن صلاح طه***

ملخص البحث Abstract

تعرض المخطوطات لكثير من العوامل البيئية المتلفة كالتلوث الجوى وما يحمله الهواء من جراثيم الفطريات وبويضات بعض الحشرات ، هذه العوامل تتفاعل مع مكونات المخطوط مسببة له مظاهر متنوعة من التلف مثل البقع اللونية الكيميائية والبيولوجية ، وخاصة البقع الفطرية التي يكثر وجودها على صفحات المخطوطات الورقية . ونظراً لما ينتج عن استخدام المذيبات العضوية في إزالة البقع الفطرية من أضرار لمكونات المخطوطات وسميتها، جاء التفكير في إزالة البقع الفطرية بشعاع الليزر ، لحفاظ على الألياف السيليلوزية سليمة ، وتقليل أكسدة الألياف الورقية والقضاء على نشاط الفطر بعد المعالجة .^(١) ويعد ليزر الياغ (Yag laser) من أفضل أنواع الليزر المستخدمة في الترميم نظراً لتكلفته القليلة ، وكفاءته العالية ، وإمكانية ربط هذه التقنية بجهاز الحاسب الآلي ومعرفة البيانات اللازمة كاملة.^(٢) ولتقييم استخدام الليزر في تنظيف البقع الفطرية على المخطوطات اتبعنا في البحث المنهج التجريبي على عينات ورقية مصنعة من خامات مختلفة ، وتنمية بعض الفطريات التي تصيب المخطوطات الورقية ، وعمل دراسة مقارنة بين الطرق الكيميائية المستخدمة في إزالة البقع الفطرية ، وبين التنظيف باستخدام الليزر ، وتأثيرها على خواص الورق الفيزيائية والكيميائية بهدف الوصول لأفضل طرق تنظيف المخطوطات مع الاستعانة بوسائل الفحص المختلفة مثل المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning Electron Microscope)، ومجهر الاستريو (Stereo Microscope). واختتم البحث بمناقشة النتائج والتوصيات الخاصة باستخدام الليزر في تنظيف البقع الفطرية من المخطوطات.

المقدمة Introduction

يعد الورق من المواد التي انتشر استخدامها كمسطح للكتابة عليه باختلاف مصادر صناعة الورق ، واختلاف خواصها، وبالتقدم الزمني لمادة الورق يحدث كثير من مظاهر التلف الفيزيائية ، والكيميائية الناتجة عن عوامل متداخلة مع بعضها البعض منها ، تراكم الأتربة ، وتأثير الكائنات الحية الدقيقة والترميمات السابقة ، بالإضافة إلى اللواصق الشريطية، أو الطوابع. البقع الفطرية التي تظهر على أسطح أوراق المخطوطات متنوعة في

* أستاذ مشارك، قسم إدارة موارد التراث والإرشاد السياحي، كلية السياحة والآثار، جامعة الملك سعود.

** أستاذ مساعد، قسم إدارة موارد التراث والإرشاد السياحي، كلية السياحة والآثار، جامعة الملك سعود.

*** مدرس مساعد، قسم ترميم الآثار - المعهد العالي للسياحة والفنادق وترميم الآثار - الإسكندرية.

(1) Havermans J.:(Paper restoration using laser technology craft project), Section 6, Parela detailed technological report, The Netherlands, 2004, P.5.

(2) Margreta and Johnt,: (A review of the state of laser cleaning in conservation), USA, 1997, P. 2-32.

الشكل والمصدر ومظهر التلف و لها تأثير على مواد التغيرية السطحية لهذه المخطوطات ، وتعد الرطوبة النسبية من العوامل المهمة التي تشجع على النمو الفطري⁽³⁾، وكذلك عمليات الأكسدة التي تحدث للزيوت المستخدمة في عمل أحبار الطباعة⁽⁴⁾. وهناك الكثير من المحاولات والتجارب المستخدمة لتجنب بعض الطرق التقليدية غير الملائمة في تنظيف البقع الفطرية واستخدام طرق حديثة في التنظيف، والتي من أهمها استخدام أشعة الليزر في تنظيف بقع الفطريات من أسطح أوراق المخطوطات. وأشعة الليزر أشعة كهرومغناطيسية وتعني تضخيم أو تكبير شدة الضوء. وهناك أنظمة متعددة من الليزر أكثرها انتشاراً وشيوعاً في الترميم هو ليزر (ND Yag). ومن أنواع الليزر الأخرى (Infrared Laser)(UV Laser) وأشار بعض العلماء إلى أنه يمكن استخدام أشعة الليزر بنجاح في إزالة البقع الفطرية⁽⁵⁾، وأنه عند طول موجي (532) نانومتر يمكن إزالة البقع الفطرية الموجودة على أسطح الأوراق . ويمكن استخدام ليزر الأكسجين عند طول موجي (308) نانومتر، لإزالة المواد الغريبة والانساختات من على أسطح الأوراق .و يؤدي التنظيف باستخدام الليزر إلى زيادة درجة البياض للورق كما يؤدي إلى ثبات الألوان والأحبار قبل وبعد المعالجة.و يعد إشعاع الليزر أكثر كفاءة من المعالجة بالطرق الكيميائية في مقاومة التلف الفطري على الورق، خاصة في أنواع البنس يليوم، والألتراناريا ، والكلا دوسبوريا. ويمكن استخدام الليزر في تنظيف الشرائط المضغوطة الحساسة على الورق المستخدمة كترميم سابق ، وأن المعالجة بالليزر أظهرت أقل تغيير في الألوان ومن عيوب المعالجة بشعاع الليزر ضعف الخواص الميكانيكية للورق.

Aim of research الهدف من البحث

- دراسة الإصابات الفطرية التي توجد على بعض المخطوطات الورقية داخل المكتبات ودور الحفظ، والتركيز على أنواع الفطريات التي توجد بصورة شائعة على المخطوطات الورقية الأثرية وتنمية البقع الفطرية على عينات ورقية حديثة من أنواع لب مختلفة .
- دراسة تأثير البقع الفطرية على الخواص الميكانيكية والضوئية للورق.
- تقييم استخدام المواد الكيميائية في معالجات البقع الفطرية على أسطح المخطوطات وما لها من إضرار على خواص ومكونات الورق.
- تقييم الليزر كتقنية حديثة في تنظيف البقع من المخطوطات الورقية، والإشارة إلى ما تتضمنه هذه التقنية من مميزات وعيوب حتى يمكن تخطي عقباتها في المستقبل .
- +اختيار الطرق الملائمة لتنظيف الورق بالليزر بطريقة دقيقة وآمنة، واستنتاج أفضل الموجات، والطرق في ترميم وصيانة الورق على المدى البعيد، حفاظاً على آثارنا المخطوطة الورقية وما تحمله من قيم فنية وتاريخية.

(3) Mattias .N.: (Fungi in archives and Libraries), Alitery Survey, Restaurator, Vol. 21. No. I, Munchen, 2000.

(4) Marina, B. M., Pappalardo , G., Romano. F, P. : (Characterization of Foxing Stain by Chemical and Spectro Metric Methods), Restaurator, Vol. 22, No. 1, 2001.

(5) Hanna. M. S. A, William, R. M.: (Laser Stain Removal of Fungus Induced Stains From Paper), JAIC , Vol 133, No. 1, 1994.

أُتبع في هذا البحث المنهج التحريبي التطبيقي على عينات ورقية مصنعة من خامات مختلفة (خشب، قطن، قطن+كتان) وتنمية عدد من الفطريات الشائعة، التي تصيب المخطوطات الورقية داخل المكتبات ودور حفظ المخطوطات. ثم عمل دراسة مقارنة بين الطرق التقليدية في إزالة البقع الفطرية وخاصة الطرق الكيميائية وتأثيرها على خواص الورق الفيزيائية والكيميائية، ثم تنظيف البقع باستخدام الليزر وتقييم هذه الطريقة في التنظيف لبقع الفطريات بهدف الوصول لأفضل الطرق لترميم الورق بشئ أنواعه بشكل آمن.

أولاً: - دراسة مقارنة بين الطرق التقليدية وتقنية الليزر المستخدمة في تنظيف البقع الفطرية من المخطوطات

1 -التنظيف اليدوي: يمر ورق المخطوطات بعدة مراحل أثناء التنظيف اليدوي، حيث يبدأ بتليين طبقة العوالق، ثم إزالتها باستخدام الأدوات البسيطة، مثل: الممحاة والمشارط والفرش المختلفة.

مميزات التنظيف اليدوي :

- يجنب استخدام المحاليل الكيميائية التي تضر بصحة المرمم .
- غالباً لا يستخدم معها محاليل مائية أو كيميائية تؤثر على الأحبار والألوان بالمخطوطات.

عيوب التنظيف اليدوي:-

- ينتج عنها تغيير بسيط في اللون عن اللون الأصلي.
 - قد تمتص الأتساحات داخل الألياف.
 - لا تنجح طرق التنظيف اليدوي في إزالة البقع الصلدة أو البقع الفطرية .
- 2 -استخدام المحاليل في تنظيف المخطوطات: تعد المحاليل الكيميائية ضرورية أثناء تنظيف المخطوطات ومن هذه المحاليل الكحول، البترين، الطولوين .

مميزات استخدام المحاليل الكيميائية:-

- غالباً لا تؤثر على الأحبار ولاسيما الأحبار الحساسة للماء مثل الحبر الكربوني.

سلبات استخدام المحاليل الكيميائية:-

- لها درجات سمية تختلف من محلول لآخر.
- بعض هذه المحاليل قد تترك طبقة زيتية على سطح الورق
- بعضها قد يؤثر على الحبر والوسيط المستخدم.
- تعمل هذه المحاليل على تقليل المحتوى المائي للورق.

- بعضها قد يحدث تغيير كيميائي في تركيب الأحبار^(٦).

وبسبب وجود أضرار للطرق التقليدية المستخدمة في إزالة البقع الفطرية، والتي لابد من تفاديها كان لابد من محاولة استنباط طرق حديثة مثل: استخدام الليزر في التنظيف .

3- استخدام تقنية الليزر في تنظيف بقع المخطوطات:

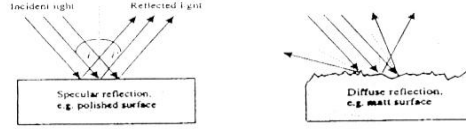
يعد الليزر (light Amplification by stimulated Emission of Radiation) {LASER} مصدر ضوئي ينطلق عنه شعاع ذو طاقة كثيفة جداً ذات لون واحد (ذات طول موجي واحد) ، وعندما يتفاعل شعاع الليزر مع السطح فإن جزء من الطاقة ينعكس والجزء المتبقي يمتص، وتعتمد الطاقة الممتصة على الطول الموجي لأشعة الليزر، وعلى الخواص الفيزيائية والكيميائية للسطح، ولا يكون شعاع الليزر مؤثر ما لم يمتص جزئياً بواسطة السطح. واستخدم شعاع الليزر في مجال الترميم لأول مرة عام 1970م حيث استخدمت في تنظيف الغتساخات السطحية من على تماثيل إيطالية، وأصبح يستخدم في مجالات كثيرة في الترميم والصيانة والتنظيف باستخدام الليزر للمخطوطات والوثائق التاريخية يسمح بتجنب الآثار السلبية الموجودة في الطرق التقليدية التي كانت مستخدمة لإزالة الملوثات السطحية، والتحكم بالكمبيوتر في خطوات التطبيق عند تغير التركيب البنائي والفيزيائي للأثر، إثر استخدام هذه التقنية فإنه يحتاج لوقت طويل بعد المعالجة والترميم وهذا الوقت يعتمد على عدة عوامل يتم ملاحظتها وتسجيلها بالعين المجردة^(٧). وحدثت بعض التطورات على أشعة الليزر مثل القابلية للنقل والتأثير القوي والمرونة والتكلفة الاقتصادية. وبذلك أصبحت أشعة الليزر ملائمة في مجال الترميم والصيانة.

مميزات أشعة الليزر في تنظيف بقع المخطوطات :

- تجنب المشاكل التي تنشأ من استخدام طرق التنظيف التقليدية مثل التنظيف بالبخار، والتي قد تؤدي إلى فقد بعض التفاصيل السطحية.
- طرق الصيانة بالليزر أقل خطورة ومتحكم فيها.
- أشعة الليزر يمكن أن تميز بين أسطح القطعة الأثرية والأسطح المتسخة المستخدمة كما في اللوحة رقم (1).

(6) Scholten, I. H. and others: (Laser cleaning of pressure sensitive taps on paper), Part1, LACON proceeding Osnabruck, Germany, Sept. 15-18, 2003. P. 44-45.

(7) Kamunska, A. and others : (The post – proceeding Effects due to Pulsed laser Ablation of paper), PartI, LACONA proceeding, Osnabruck, Germany, Sept. 15-18, 2003. P. 35-36.



اللوحة رقم (1) تأثير طبيعة سطح المادة على امتصاص وانعكاس شعاع الليزر

- يمكن توجيهها بدقة على السطح ملم يسمح بإجراء تنظيف موضعي دقيق.
- الشدة العالية لأشعة الليزر كافية لإزالة أي اتساخات أو مكونات غريبة من أسطح المخطوطات الورقية.

سليبات استخدام تقنية الليزر:-

- صعوبة التطبيق لغير المتخصصين.
- قد تؤثر على الخواص الميكانيكية للأوراق .

3-1 أنواع أشعة الليزر المستخدمة في تنظيف المخطوطات الورقية وميكانيكية عملها

أشعة الليزر المستخدمة في تنظيف الأعمال الفنية هي: (Q-Switched Nd: YAG)، التي تتميز بنبضات قصيرة من الأشعة تحت الحمراء القريبة عند طول موجي 1.04 نانومتر وهي نبضات قصيرة تمنع وصول الحرارة أسفل طبقة الاتساخ المراد إزالتها وتكون الاتساخات أكثر امتصاصاً لهذه النبضات عن الطبقات السفلية، وبذلك يحدث التنظيف تحت ظروف آمنة.

3-2 ميكانيكية التنظيف بأشعة الليزر

وتعتمد ميكانيكية تنظيف البقع بالليزر على أربع خطوات ثرموميكانيكية رئيسة كالآتي^(٨) :

- أ - التمدد حراري: حيث إن امتصاص الطاقة الداخلية سوف يؤدي إلى تولد ضغوط حرارية مرنة تكون كافية لكسر الروابط بين طبقة الاتساخات وسطح المخطوط .
- ب - التبخر السريع: حيث يحدث ارتفاع لدرجة الحرارة في الكثافات ذات الطاقة العالية على السطح يؤدي لحدوث تبخر سريع للإتساخات.
- ج - ارتخاء السطح (Surface relaxation): بمجرد أن تنتهي نبضة أو ذبذبة شعاع الليزر يحدث ارتخاء السطح يؤدي إلى كسر إضافي لروابط الإتساخات.
- د - الصدمة الناتجة عن تمزق السطح: حيث تتولد نبضات تصادمية صوتية نتيجة للطرود السريع للإتساخات من السطح مما يؤدي إلى تولد ضغوط كامنة لإحداث تمزق فيزيائي للإتساخات بالقرب من منطقة الإشعاع.

3-3 العوامل المؤثرة في تنظيف المخطوطات بالليزر:

^(٨) فاطمة صلاح مذكور: (دراسة المواد والطرق الحديثة المستخدمة في ترميم وصيانة الآثار الخزفية الإسلامية مع التطبيق العلمي على بعض النماذج المختارة)، رسالة دكتوراه، نشرت، قسم الترميم - كلية الآثار - جامعة القاهرة، عام 2004، ص 109.

يعتمد نجاح استخدام التنظيف بالليزر على عاملين هما:

-أشعة الليزر: الطول الموجي (wave length) وتدفقات الليزر، وطول النبضات والاندفاع.

-المخطوط الورقي: على تركيب وقوام السيليلوز وأليافه النباتية.

ثانياً: الدراسة التجريبية : واشتملت الدراسة على عدة محاور كالتالي:-

المحور الأول : زراعة الفطريات على عينات ورقية تجريبية

1 -إعداد العينات الورقية التجريبية:

تم تصنيع ثلاثة أنواع من الورق بهدف إحداث إصابة ميكروبي ولوجية لها لمعرفة مدى تأثير الكائنات الحية الدقيقة (المعزولة من بعض المخطوطات الأثرية) على خواص الورق، وهي كالتالي:

A حينات ورق من لب الخشب.

B حينات ورق من القطن.

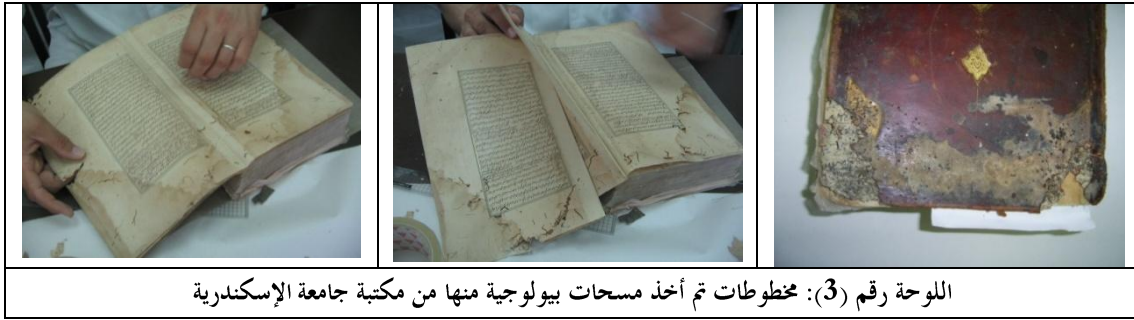
C حينات ورق من لب 50% قطن، 50% كتان.

2 -المسحات البيولوجية

تم عمل دراسة للإصابات الفطرية، التي توجد على المخطوطات الأثرية في بعض المكتبات مثل المكتبة المركزية بجامعة القاهرة اللوحة رقم (2)، ومكتبة الإسكندرية اللوحة رقم (3) والمكتبة المركزية للمخطوطات الإسلامية بالسيدة زينب، وتم أخذ مسحات من بعض المخطوطات بهذه المواقع كمثال تطبيقي لتلف الأوراق بالكائنات الحية الدقيقة، وقد أخذت المسحات من أوراق المخطوطات المصابة بالبقع الفطرية اللوحة رقم (4)، وإصابة العينات الورقية المحضرة حديثاً بهذه الفطريات، للحصول على بقع فطرية على الأوراق لتصبح بمثابة نموذج تجريبي يمثل انتشار البقع الفطرية على الأوراق لدراسة مدى تأثيرها على خواص الورق ، وكذلك لدراسة طرق التنظيف التقليدية وطريقة الليزر في تنظيف البقع الفطرية.



اللوحة رقم (2): مخطوطات تم أخذ مسحات بيولوجية منها من مقتنيات المكتبة المركزية - جامعة القاهرة



اللوحة رقم (3): مخطوطات تم أخذ مسحات بيولوجية منها من مكتبة جامعة الإسكندرية



اللوحة رقم (4): أثناء أخذ العزلات البيولوجية من بعض أوراق المخطوطات

1-2 أخذ العزلات:

تم أخذ مسحات من مناطق مختلفة من الأوراق لإجراء الفحص الميكروبيولوجي عليها ، لمعرفة أهم أنواع الفطريات السائدة والمحللة للمخطوطات، وبذلك يمكن اختيار الأنواع التي يمكن استخدامها في الجانب التجريبي من البحث . والعزل باستخدام مسحات من القطن المعقم والمندى بقليل من الماء المعقم أيضاً والملفوف على سيقان خشبية معقمة، بحيث يتم وضع المسحات بعد العزل مباشرة في أنابيب معقمة بعد تعريض فوهتها للهب لضمان التعقيم الكامل لها ، وعدم حدوث أي تلوث من الجو المحيط . تم نقل المسحات بعد ذلك إلى المعمل لتنميتها على البيئة الصناعية وعزلها وتصنيفها لمعرفة أنواع الفطريات الموجودة على تلك المخطوطات.

2-2 البيئة المستخدمة PDA: (9)

تم استخدام بيئة (Potato Dextrose Agar (PDA) لعزل وتنمية الفطريات و لحفظ المزارع النقية لتصنيفها ، وتتركب هذه البيئة من المكونات الآتية:

التركيب	Formula (m/gl)	
مستخلص بطاطس	Potato extract	4.00
جلوكوز	Glucose	20.00
أجار	Agar	15.00
رقم الأس الهيدروجيني	pH	5.6 + 0.2

3-2 عزل وتنقية الفطريات:

(9) Atlas, R.M.: (Handbook of Microbiological Media for the Examination of Food) CRC Press, Boca Raton, (1995).

تم صب البيئة السابق تحضيرها في أطباق بتري معقمة ، ثم لقحت هذه الأطباق بالعزلات المختلفة تحت ظروف معقمة ، حيث تم عمل ثلاث مكررات لكل عذلة، وبعد ذلك تم تحضين هذه الأطباق عند 28 - 30⁰م لمدة 5-7 أيام. وبعد فترة التحضين تم فحص الأطباق وحصر المستعمرات الفطرية الموجودة بها، ثم تم فصل وتنقية هذه المستعمرات في أطباق أخرى تحتوى على نفس البيئة، وبعد الحصول على مستعمرات أو مزارع نقية تماماً تم عمل مزارع مكررة لكل فطر في أنابيب معقمة ومحتوية على نفس البيئة لاستخدامها في التصنيف والتصوير.

2 4 تصنيف الفطريات المعزولة:*

تم عزل مزارع فطرية نقية من العزلات التي تم تنقيتها، ودراسة لون وشكل هذه المزارع وفحصها بالعين المجردة ثم فحصها ميكروسكوبياً لتحديد نوع الميسيليوم ، وشكل الحوامل الجرثومية وتم التصنيف لهذه المزارع (وتشير النتائج بعد التصنيف إلى أن جميع الأجناس التي تم عزلها من الفطريات المحللة للمواد العضوية المختلفة والفطريات التي تم التعرف عليها كالتالي:اللوحة رقم (5)

- أسبرجيليس نيجر (*Aspergillus niger*)

- أسبرجيليس تيريوس (*Aspergillus terreus*)




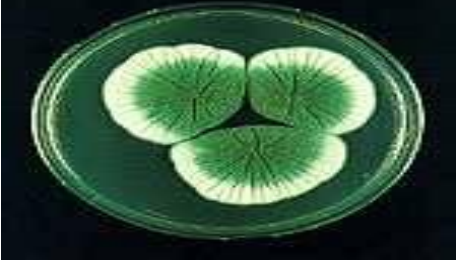
- بنسيليوم (*Penicillium Sp.*)

- الترناريا سولاني (*Alternaria solani*)

- فيوزاريوم أوكسيسبوريم (*Fusarium oxysporum*)

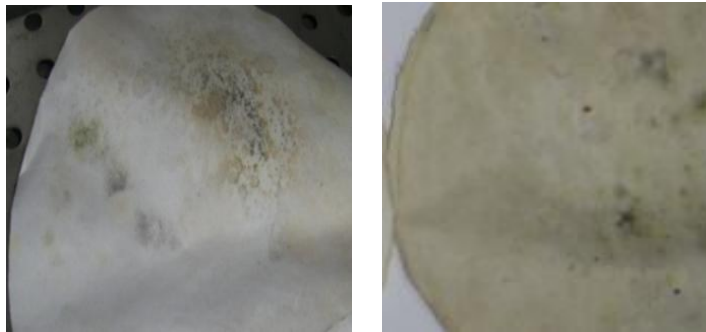
- كوتوميوم جلويس (*Chaetomium globes*)

* تم تعريف الفطريات بقسم أمراض النبات - كلية الزراعة - جامعة القاهرة.

 <p>ب - صورة ميكروسكوبية لفطر اسبرجيليس تيريوس (<i>Aspergillus terreus</i>)</p>	 <p>أ - صورة ميكروسكوبية لفطر اسبرجيليس نيجر (<i>Aspergillus niger</i>)</p>
 <p>د - شكل فطر الأسبرجيلس داخل أطباق بتري بعد التنقية (<i>Aspergillus Sp.</i>)</p>	 <p>ج - شكل فطر البنسيليوم بعد التنقية (<i>Penicillium Sp.</i>)</p>

اللوحة رقم (5): الفطريات بعد العزل والتنقية

- تم أنبات هذه الأنواع من الفطريات على الأوراق تحت ظروف معقمة، في درجة حرارة 24 م والرقم البيدرجيني 6 وبالتعرض إلى ضوء مصباح الفلورسنت لمدة 8 ساعات لكل 21 يوم أدى ذلك الى تكوين بقع مماثلة لتلك الموجودة في الوثائق الورقية القديمة، ومتابعة التجربة على فترات منتظمة وتم رش الورق المصاب بالماء المقطر لمنع جفافه وللحفاظ على وجود نسبة رطوبة مناسبة لنمو الفطريات، وتم تحصين التجربة لمدة 50 يوماً. اللوحة رقم (6).



اللوحة رقم (6): الورق التجريبي بعد إنبات الفطريات علي

5 2 النتائج

1-5-2: التقييم البصري باستخدام العدسات المكبرة: الجدول رقم (1)

العينة	نوع الورق	+++ كثيف	++ متوسط	+ قليل
أ	عينة ورق من لب الخشب		++	
ب	عينة ورق من القطن	+++		
ج	عينة ورق من لب 50% قطن، 50% كتان		+	

الجدول رقم (1): التقييم البصري باستخدام العدسات المكبرة لكثافة النمو الفطري على العينات التجريبية

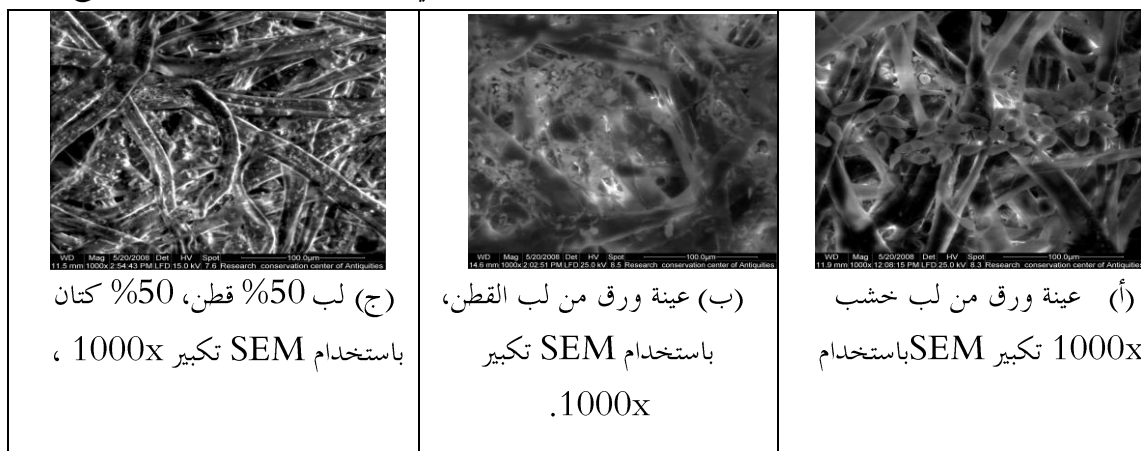
التعليق :-

- أظهرت النتائج كما في الجدول أن جميع الفطريات التي تم تنميتها على الأوراق أفرزت صبغات لونية مختلفة، حيث أفرز فطر *Aspergillus niger* لون أصفر خفيف، أما فطر *Aspergillus terreus* فقد أعطى لون بني، كما أعطى فطر *Penicillium Chrysogenum* لون أصفر كبريتي، وأعطى فطر *Stemphylium PiliForme* بقع ذات لون أسود.
- أعطت الأوراق المصنعة من القطن ولب الكتان مقاومة عالية للتلف البيولوجي.

2-5-2 التقييم من خلال الفحص باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) بتكبير 1000X.

تبين من خلال الفحص باستخدام SEM مدى تأثير الفطريات على ألياف الورق كالتالي: شكل (7)

- ظهور النموات الفطرية داخل ألياف الورق اللوحة (أ)
- تفتك الألياف نتيجة الإصابة البيولوجية اللوحة (ب)
- العينة المصنعة من ألياف القطن والكتان تأثرها بالتلف البيولوجي أقل من العينات الأخرى اللوحة (ج)



اللوحة رقم (7): الفحص باستخدام المجهر الإلكتروني الماسح (SEM) - يوضح تأثير الفطريات على ألياف الورق المختلفة

2-5-3: التقييم من خلال دراسة الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق المصابة*:

تقوم هذه الدراسة بقياس الخواص الميكانيكية للأنواع الثلاثة من الأوراق (خشب) + (القطن) + (50% كتان) ، وذلك قبل الإصابة بالفطريات لمعرفة خواص الورق الميكانيكية وبعدها يتم إصابة تلك الأوراق بالفطريات التي تم عزلها ، يوضح الجدول رقم (2) والشكل رقم (1) قياس الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق (وذلك طبقاً للمواصفات القياسية "TAPPI")**

نوع الورق	الخاصية				
	درجة العتامة (%)	درجة البياض (%)	مقاومة التمزق (جرام g)	مقاومة الانفجار (كيلو بسكال) Lb/in ²	قوة الشد (كيلو جرام) Kg
A	قبل الإصابة	76.5	71.5	186.79	6.5
A	بعد الإصابة	92.5	56	75.9	20.5
B	قبل الإصابة	92.7	75.9	183	34.5
B	بعد الإصابة	95.8	60.5	156.4	26.6
C	قبل الإصابة	91.4	59.1	290	38
C	بعد الإصابة	96.6	55.6	264.8	32.6

الجدول رقم (2) يوضح قياس الخواص الضوئية والميكانيكية للأنواع المختلفة من الأوراق قبل وبعد الإصابة بالفطريات والرسم البياني التالي (شكل 1) يوضح هذه القياسات.

* تم إجراء الدراسة في معامل الفحص الطبيعي للشركة العامة لصناعة الورق (راكنا) الأسكندرية - مصر.

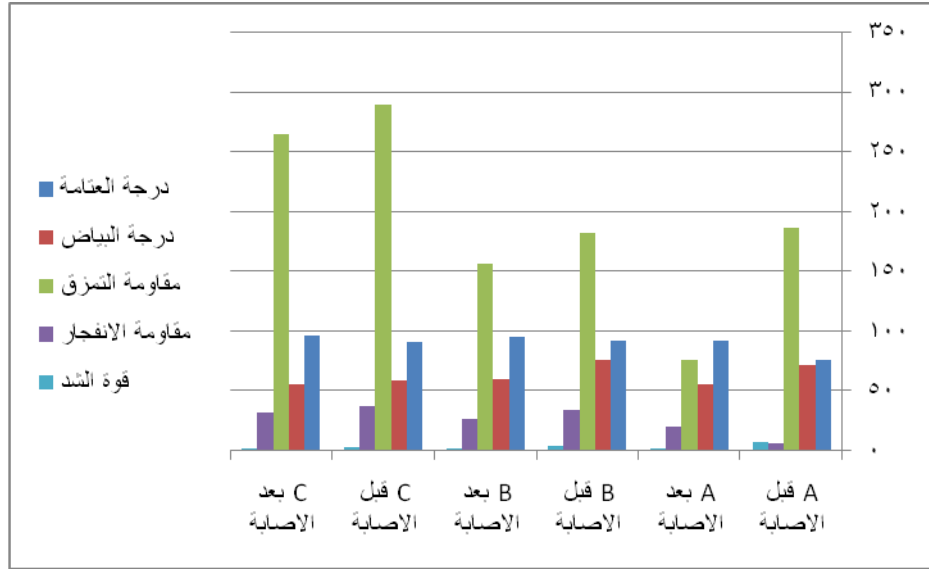
** - تم قياس خاصية الشد: (طبقاً للمواصفات القياسية (TAPPI T 404 OS. 74)

- قياس مقاومة التمزق: (طبقاً للمواصفات القياسية (TAPPI T 414 TS)

- قياس مقاومة الانفجار: (طبقاً للمواصفات القياسية (TAPPI T "40 30" m.97)

- تعيين درجة البياض: (طبقاً للمواصفات القياسية (APPI T 217 OS. 48)

- تعيين درجة العتامة: (طبقاً للمواصفات القياسية (TAPPI T 425 OS. 60)



شكل (8): يوضح قياس الخواص الضوئية والميكانيكية للأنواع المختلفة من الأوراق قبل وبعد الإصابة بالفطريات
مناقشة النتائج:

لوحظ من خلال قياس الخواص الميكانيكية لثلاثة أنواع من الأوراق، مدى التلف الذي تسببه الفطريات للأوراق من حيث ضعف الخواص الميكانيكية للورق، وتأثيرها على قوة الشد، والتمزق، والانفجار، وهذه العوامل مؤشر على قوة الورق، فيتضح من خلال الجدول رقم (2) مدى ضعف الخواص الميكانيكية للورق مقارنة بالعينات التي لم يحدث لها أي إصابة. أما الخواص الضوئية فنلاحظ أن الفطريات تؤثر على درجة البياض، حيث تنخفض درجة البياض للورق وذلك بمقارنتها بالعينات التي لم تصب بالفطريات، ويلاحظ زيادة درجة العتامة للعينات المصابة بالفطريات، ونستنتج من ذلك أن الإصابات الفطرية تزيد من درجة عتامة الورق وتقلل من درجة البياض، وهذا مؤشر على أن الإصابات الفطرية تؤثر على الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق .

المحور الثاني: دراسة تأثير المعالجة الكيميائية التقليدية باستخدام المحاليل العضوية (الكحول الأيثيلي) على العينات

الورقية المصابة بالفطريات وتأثيرها على خواص الورق:

تتميز بعض الفطريات بالقدرة العالية على تحلل السليلوز في الورق، وهذه الفطريات قد تؤثر على صحة المرمم عند العلاج والترميم، ومن المعروف أن استخدام العمر في الايثانول (70%) من أشهر الطرق التقليدية في العلاج وفي هذه الدراسة تم استخدام بعض عينات الورق المصابة بالفطريات المعزولة سابقاً.

1 - الطريقة المستخدمة:

1 1 استخدام محلول الايثانول بتركيز 70% لإزالة الجراثيم الفطرية (الميثيلوم).

1 2 تجهيز العينات الورقية المصابة بالفطريات، ثم نقع الأوراق المصابة بالبقع الفطرية لمدة ساعة .

2 - النتائج:

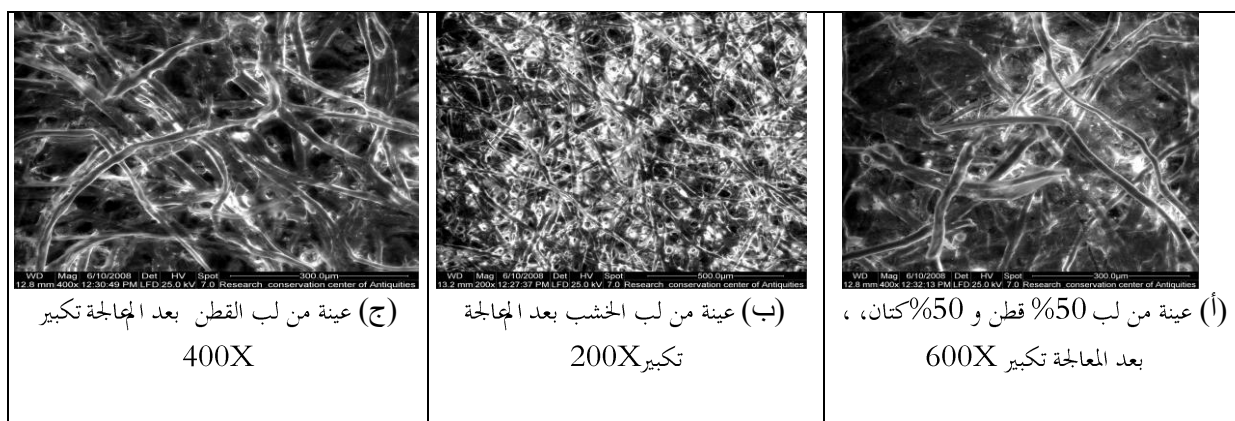
2-1: الفحص البصري باستخدام العدسات المكبرة الملوحة رقم (8):

– بعد النقع لمدة ساعة تم إزالة الجراثيم الفطرية ذات اللون الأسود (فطر ستمفيليوم *Stemphilium sp.*) ، كما قللت من البقع الفطرية الناتجة عن باقي الفطريات.

- ضعف الخواص الميكانيكية للأوراق المعالجة، حيث لوحظ أثناء التناول تحول الأوراق إلى ما يشبه اللب.

2-2 : التقييم من خلال الفحص بالمجهر الإلكتروني الماسح (SEM):

- بعد المعالجة نلاحظ قمتك في الألياف اللوحة (أ)
- ونلاحظ تغير لون الألياف إلى اللون الأبيض في بعض العينات اللوحة (ب)
- ونلاحظ إزالة الـ Spors الموجودة داخل ألياف الورق اللوحة (ج)



اللوحة رقم (8) تأثير المعالجة الكيميائية باستخدام الكحول الإيثيلي على العينات الورقية المصابة بالفطريات

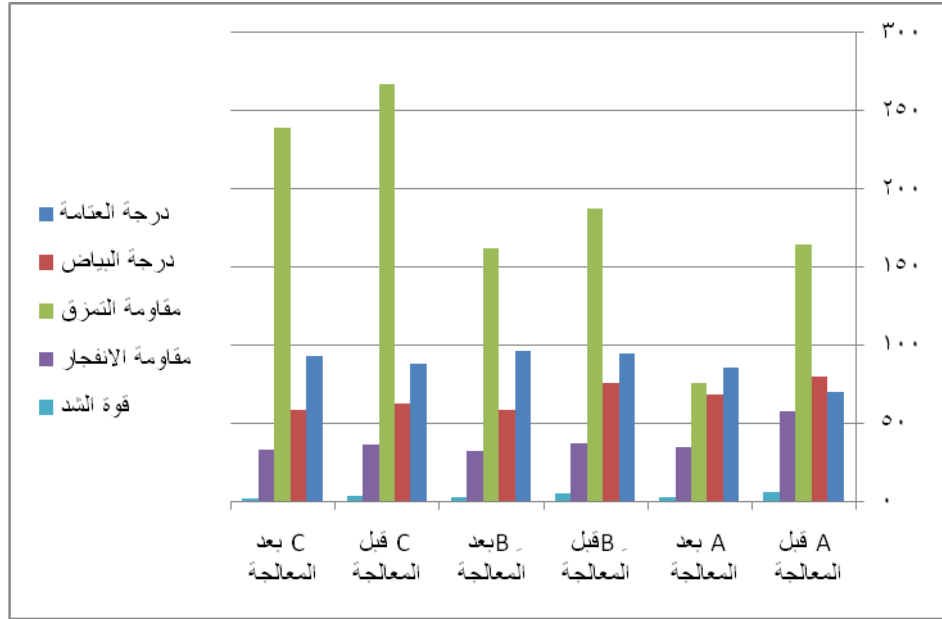
تحت المجهر الإلكتروني الماسح

2-3 : التقييم من خلال دراسة الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق المعالجة:

تم قياس الخواص الميكانيكية للأوراق التجريبية المعالجة بالكحول الإيثيلي لتحديد تأثيره على خواص الورق يوضح الجدول رقم (3) والشكل رقم (2) قياس الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق (وذلك طبقاً للمواصفات القياسية "TAPPI")

الخواص	درجة العتامة (%)	درجة الميلض (%)	مقاومة التمزق (جرام g)	مقاومة الانفجار (كيلو بسكال) Lb/in ²	قوة الشد (كيلو جرام) Kg
نوع الورق					
A قبل المعالجة	69.5	79.5	164.7	57.5	6.030
A بعد المعالجة	85.8	68.6	75.6	34.6	2.657
B قبل المعالجة	94.2	75.9	187	36.8	4.949
B بعد المعالجة	96	58.54	162	32.4	2.248
C قبل المعالجة	88.3	62.5	267	36	3.548
C بعد المعالجة	92.8	58	239	33.2	2.045

الجدول رقم (3): تأثير التنظيف بالكحول الإيثيلي 5% على الخواص الميكانيكية والضوئية للورق



الشكل رقم (2): تأثير التنظيف بالكحول الإيثيلي 5% على الخواص الميكانيكية والضوئية للورق

مناقشة النتائج:

الخواص الميكانيكية:

الغمر في الكحول الإيثيلي أدى إلى تقليل الخواص الميكانيكية بعد المعالجة وهذا مؤشر على أن المذيبات العضوية تؤدي إلى انخفاض الخواص الميكانيكية للورق وخاصة خاصية مقاومة التمزق والانفجار

الخواص الضوئية:

أدت المعالجة بالكحول الإيثيلي إلى تحسين درجة البياض للورق.

المحور الثالث : استخدام أشعة الليزر في تنظيف البقع الفطرية

يتناول البحث في هذا المحور استخدام الليزر في علاج البقع الفطرية على أسطح الأوراق وتقييم التغيرات الكيميائية والفيزيائية للمكونات الأساسية سواء التغيرات السطحية أو التغيرات التي حدثت على المدى البعيد نتيجة للعلاج بالليزر.⁽¹⁰⁾ تبين هذه التقنية تعطي مدى فاعلية استخدام شعاع الليزر في إزالة بقع الفطريات والتي يجب أن تتم بعناية لتفادي تلف الورق، ونظراً لصعوبة إزالة البقع الفطرية دون التأثير على خواص الورق كان من الضروري استنباط طريقة فيزيائية تكون أكثر تخصصاً ومرونة في التطبيق، باستخدام شعاع الليزر الذي يسلط في شكل شعاع رفيع من الضوء المركز، الذي له القدرة على إزالة البقع الفطرية حيث يستلزم ذلك أن تمتص البقعة ضوء الليزر أكثر مما تحتها.

(10) Scholten, H, and others: (Laser Cleaning, Investigation of paper Models and original objects with Nd: YAG and KRF laser system), Laser in the Conservation of Art works, part I, LACONA Proceeding Osnabruck, Germany, Sept. 15–18, 2003. P. 11,12.

1- الطرق والمواد المستخدمة في المعالجة بالليزر:

تم اختيار ثلاثة أنواع من الورق (خشب، قطن، قطن وكتان) المصاب بأنواع الفطريات المختلفة، واستخدامها في تقييم التغيرات الكيميائية والفيزيائية، التي تحدث للمكونات الأساسية للورق على المدى القريب و البعيد، نتيجة للعلاج بالليزر. ثم معالجة هذه الأوراق بالليزر باستخدام طول موجي عند 532 نانومتر



اللوحة رقم (9): جهاز الليزر المستخدم في تنظيف البقع الفطرية

2- طريقة التنفيذ والمعالجة:

تم اختيار أربعة أنواع من البقع الفطرية الموجودة على المخطوطات الأثرية ، لإجراء الجانب التجريبي عليها والتي أعطت بقع ملونة مختلفة كالتالي:

- 1- أعطى فطر *Aspergillus niger* (اسبرجيليس نيجر) بقع ذات لون أصفر خفيف .
 - 2- أعطى فطر *Aspergillus terreus* (اسبرجيليس تيريوس) بقع ذات لون بني.
 - 3- أعطى فطر بنسيليوم كريسونيوم (*Penicillium Chrysogenum*) بقع ذات لون أصفر كبريتي.
 - 4- أعطى فطر ستمفيليوم بيلي فورمي *Stemphylium PiliForme* بقع ذات لون أسود.
- تم تطبيق أشعة الليزر في تنظيف البقع الفطرية الموجودة على أسطح الأوراق. بمعامل المعهد القومي لعلوم الليزر، جامعة القاهرة، وقد تم استخدام جهاز "النيوديميوم ياج ND YAG"، اللوحة رقم 9 (أ) باستخدام طول موجي عند 532 نانومتر لمدة ثلاث دقائق من مسافة 5-80 سم للقضاء على كل البقع الفطرية، اللوحة رقم 9(ب).
- ظهر أن الضوء المنبعث من الليزر قد امتص بواسطة البقعة ليولد حرارة مركزة فيها، مما يتسبب في تبخرها من ألياف الورق، والمعدل الآمن يتم بإبطاء معدل نبضات الليزر. وقد تم تعريض العينات المصابة بالفطريات لجرعات مختلفة من الليزر حيث يوضح الجدول رقم (4) ظروف التعريض للعينات الورقية المصابة بالفطريات .

رقم العينة Sample No	الطاقة Energy (M.J)	عدد النبضات Number of pulses	تركيز الشعاع Focused or unfocused Beam	طول الموجه Wavelength (λ)	مدة التعريض Exposer Time
1	100 M.J	300	Unfocused غير مركز	532 نانوميتر	30
2	50 M.J	Single Pulse	Focused مركز	532 نانوميتر	–
3	50 M.J	Single Pulse	Unfocused غير مركز	532 نانوميتر	–
4	50 M.J	12	Focused مركز	532 نانوميتر	30

الجدول رقم (4): يوضح ظروف التعريض للعينات الورقية المصابة بالفطريات

3 - تحليل وتقييم نتائج التنظيف بالليزر:

تم إزالة البقع الفطرية الموجودة على الورق، مع عدم الإضرار بالورق، وتعد هذه نتيجة ايجابية، واستخدام الليزر في إزالة البقع الفطرية يعد أفضل من الطرق التقليدية اليدوية والمحاليل العضوية.

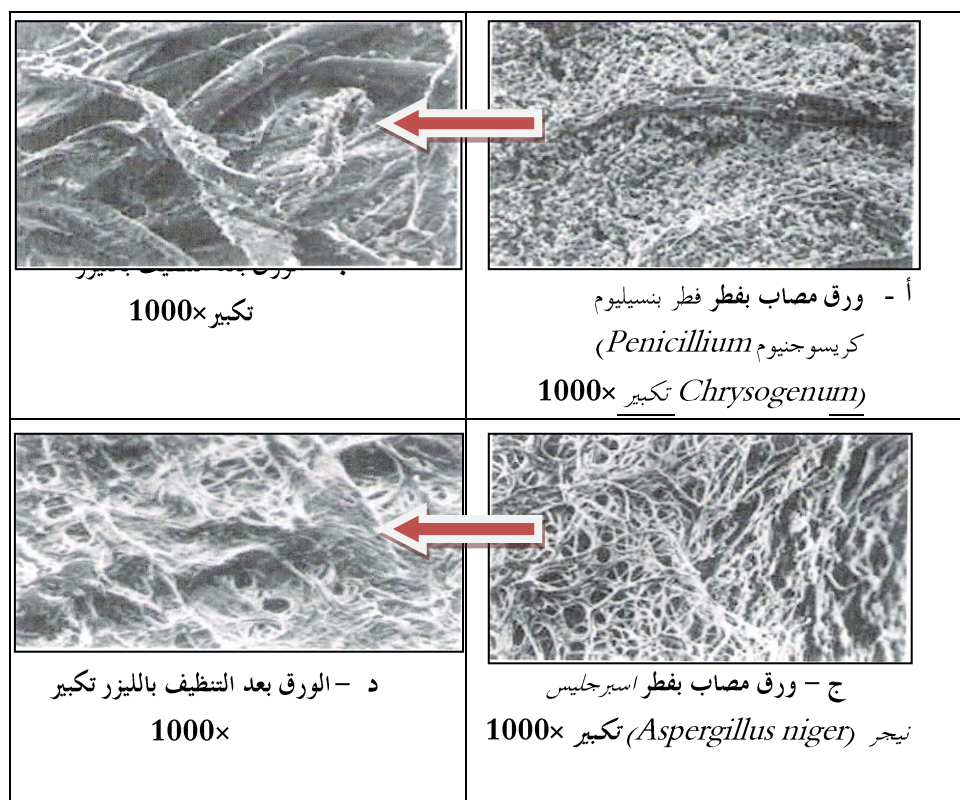
3-1 التقييم البصري: تبين من خلال الفحص البصري للعينات المعالجة إزالة البقع الفطرية الموجودة على الأوراق في جميع ظروف التشغيل.

3-2 : الفحص المجهرى:

تبين من خلال الفحص باستخدام مجهر استريو Stereo Microscope، والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM) أن ألياف الورق المعالج لم تتضرر وقد ظهرت ألياف الورق خالية من الأجسام الفطرية بعد المعالجة، كما توضحه اللوحتان (10،11).



اللوحة رقم (10): العينات تحت مجهر الاستريو (Stereo Microscope) توضح شكل الألياف قبل وأثناء وبعد التنظيف باستخدام أشعة الليزر



اللوحة رقم (11)

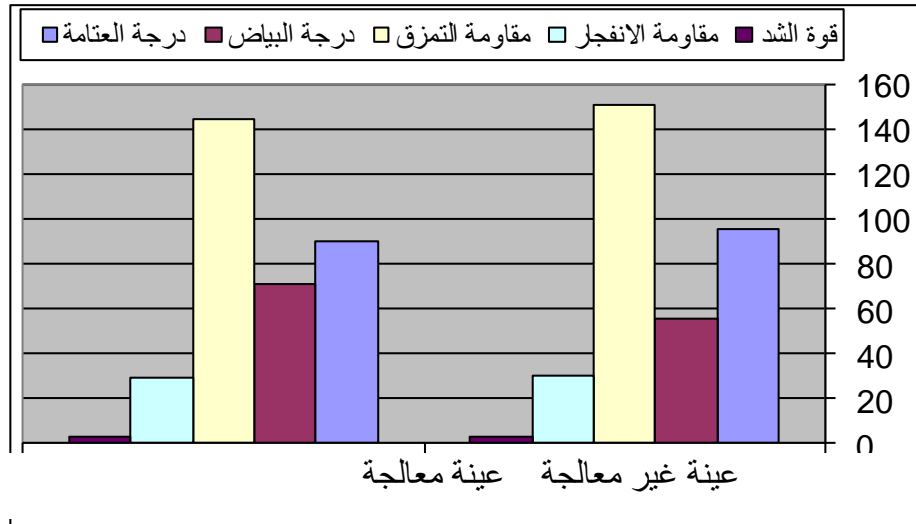
العينات التجريبية المصابة بفطر البنسيليوم والاسبرجلس بعد التنظيف تحت المجهر الإلكتروني الماسح

3-3 التقييم من خلال قياس الخواص الميكانيكية والضوئية للورق.

- تبين من خلال قياس الخواص الميكانيكية والضوئية (طبقاً للمواصفات القياسية "TAPPI") كما في الجدول رقم (4) والشكل رقم (3) انخفاض في الخواص الميكانيكية للورق ومنها قوة الشد والانفجار والتمزق، كما لوحظ زيادة طفيفة في درجة البياض ونقصان في درجة العتامة نظراً لأن أشعة الليزر لها تأثير حراري على الورق.
- أن العلاج بالليزر عند طول موجي 532 نانومتر له تأثير أقل على الخصائص الميكانيكية للورق.
- الليزر عند 532 نانومتر له كفاءة أعلى وأضرار جانبية فيزيائية أو كيميائية أقل في إزالة البقع الفطرية.

الخاصية	درجة العتامة (%)	درجة البياض (%)	مقاومة التمزق (جرام) g	مقاومة الانفجار (كيلو بسكال) Lb/in ²	قوة الشد (كيلو جرام) Kg
نوع الورق					
عينة غير معالجة	95.5	55.7	150.6	30.3	3.010
عينة معالجة	90.4	70.8	144.7	29.5	2.901

الجدول رقم (4): يوضح قياس الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق المعالجة بأشعة الليزر



الشكل رقم (3): قياس الخواص الميكانيكية والضوئية للأوراق المعالجة بأشعة الليزر

نتائج البحث

1 - التعرف على بعض الفطريات التي تصيب المخطوطات داخل بعض المكتبات والتي تم عزلها وتصنيفها كالتالي:

- أسبرجيليس نيجر (*Aspergillus niger*).

- أسبرجيليس تيريوس (*Aspergillus terreus*).

- بنسيليوم (*Penicillium Sp.*).

- الترناريا سولاني (*Alternaria solani*).

- فوساريوم أوكسپوروم (*Fusarium oxysporum*).

- كوتوميوم جلوبيس (*Chaetomium globes*).

2 - إزالة البقع بالطرق الكيميائية أثرت بشكل مباشر على الورق سواء من خلال تغيرات في التركيب الكيميائي للورق أو بهتان الأحبار والألوان.

3 - تبين من البحث أن أشعة الليزر أنجح في إزالة البقع، التي لا تستطيع الطرق التقليدية إزالتها مثل بقع فطر البنسيليوم، الأسبرجيليس، والترناريا، والكلودوسبوريوم، التي فشلت الطرق التقليدية في علاجها ونجحت معها تقنية الليزر، حيث إن الليزر يزيل البقع الملونة القريبة من السطح.

4 - الترميم بالليزر يتطلب عدة مواصفات لضمان حد الأمان للمخطوطات الورقية، ومن أهم هذه المتطلبات، التحكم في قوة الطول الموجي وتردد النبضات، الأطوال الموجية عند (532) نانوميتر تعطي أفضل النتائج مع مادة الورق وذلك لأن هذه الموجات ذات ترددات لا تعطي تأثير حراري على مادة المخطوط الورقي.

شكر وتقدير

يتقدم الباحثون بالشكر والتقدير إلى كل من الأستاذ /خلوصي محمود خلوصي المشرف العام على المكتبة المركزية للمخطوطات الإسلامية بالسيدة زينب على موافقته على أخذ العينات البيولوجية من المخطوطات المحفوظة بالمكتبة، وكذلك إلى القائمون بالمكتبة المركزية ، جامعة القاهرة، وإلى الدكتور/ هشام إمام بالمعهد القومي لعلوم الليزر، جامعة القاهرة على مساعدته للباحثين في إجراء الجانب التطبيقي الخاص بالليزر .