صناعة المخطوط وصيانته

دراسة تحليلية
لتقنيات ومظاهر تلف مخطوط قرآني ورقي
يرجع للقرن الثاني عشر هجريًّا – تقريبًا

فريق البحث

- زينب ناصر عبد الله حسن؛ أخصائية ترميم آثار، وزارة السياحة والآثار المصرية.
- د. رشدية ربيع علي حسن؛ أستاذ المخطوطات المساعد بقسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
- أ. د. غادة أحمد عواد؛ أستاذ قسم كيمياء المنتجات الطبيعية والميكروبية، المركز القومي للبحوث، الدقي، مصر.
- د. محمود علي؛ أستاذ مساعد بقسم ترميم الآثار، كلية الآثار، جامعة الأقصر.
- حمدي عبد المنعم محمد عبد العال؛ أخصائي ترميم مخطوطات، ومدير عام ترميم بمتحف الفن الإسلامي.

ملخص البحث

يعالج الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تحديد طبيعة الأضرار التي تصيب أوراق المخطوط، وكيفية التعامل معها. وقد استُعين في هذه الدراسة بالعديد من أجهزة الفحص والتحليل؛ منها استخدام الميكرسكوب الإلكتروني الرقمي المحمول USB لفحص أهم مظاهر التلف السطحية التي لحقت به. بالإضافة إلى استخدام الميكرسكوب الإلكتروني الماسح SEM لدراسة مورفولوجيا السطح. والميكرسكوب الضوئي للتعرف على نوع الفطريات التي أصابت المخطوط. وتحليل FTIR التحليل الطيفي بالأشعة تحت الحمراء للتعرف على نوع الوسيط المستخدم للأحبار. وتحليل EDX للتعرف على نوع الأحبار المستخدمة في المخطوط. بالإضافة إلى قياس الـ PH للعينات الورقية.

أظهرت نتائج استخدام SEM أن الألياف المكوِّنة لأوراق المخطوط عبارة عن ألياف قطن سيليلوزية. كما أظهر تحليل EDX أن الحبر المستخدم في كتابة النصوص هو الحبر الكربوني للون الأسود، كما استُخدم كبريتيد الزئبق للون الأحمر المستخدم في الفواصل بين الآيات، كما استُخدم أزرق الألترامارين لخطوط الإطار بجانب اللون البني. كما أوضح تحليل EDX زيادة نسبة الأكسجين، التي تعبِّر عن تدهور ألياف السيليلوز. أما تحليل FTIR فقد أوضح أن الوسيط المستخدم في الأحبار هو الصمغ العربي، كما أوضح أن العينات تعرضت للتحلل المائي نتيجة تعرضها للرطوبة أو البلل المباشر، مما أدى إلى شلفطة الأحبار في بعض الأجزاء. كما أظهر الميكرسكوب الضوئي أن فطر الإسبراجلس مهيمن على العينات، وأدى إلى تلفها وتبقيعها.

الكلمات المفتاحية: المخطوطات الحبر الكربوني الصبغات الفطرية – FTIR – EDX – USB

An Analytical Study of the Manifested Damage in an Ottoman Qur'anic Manuscript

Research Team

- Zainab Nasser Abdullah Hassan: Antiquities Restoration Specialist, Egyptian Ministry of Tourism and Antiquities.
- Dr. Rashdia Rabie Ali Hassan: Assistant Professor of Manuscripts, Department of Antiquities Restoration, Faculty of Archeology, Cairo University.
- Dr. Ghada Ahmed Awwad: Professor at the Department of Natural and Microbial Products Chemistry, National Research Center, Egypt.
- Dr. Mahmoud Ali: Assistant Professor at the Department of Antiquities Restoration, Faculty of Archeology, Luxor University.
- Hamdi Abdel Moneim Mohamed Abdel-Al: Manuscript Restoration Specialist, and Director of Restoration at the Museum of Islamic Art.

Abstract

The main objective of this study is to determine the nature of the damage in the manuscript folios and how to treat them. Several examination and analysis devices were used in this study, including: the USB portable digital microscope, to examine the most important surface damages that were inflicted on them; the scanning electron microscope SEM, to study the morphology of the surface; the light microscope, to identify the type of fungi that infected the manuscript; the FTIR infrared spectroscopy, to identify the type of medium used for inks; and the EDX analysis, to identify the type of inks used in the manuscript; in addition to measuring the PH of the samples.

The results of using SEM showed that the fibers that made up the manuscript papers are cellulosic cotton fibers. The EDX analysis showed that the ink used in writing texts is carbon ink for the black color, mercury sulfide for the red color used for rubrications, and ultramarine blue for the frame lines besides brown color. The EDX analysis showed that the increased percentage of oxygen reflect the degradation of cellulose fibers. As for the FTIR analysis, it was clear that the medium used in the inks was arabic gum. It also showed that the samples were subjected to hydrolysis as a result of exposure to moisture or direct wetness, which led to the smudging of inks in some parts. The light microscope showed that the Aspergillus fungus dominated the samples and led to their damage and staining.

Keywords: manuscripts - carbon ink - fungal pigments - USB - EDX – FTIR

المقدمة

تعد المخطوطات الأثرية من أهم مقتنيات التراث الثقافي المحفوظ في المكتبات والمتاحف العالمية، لما تحمله لنا من تاريخ وثقافة الشعوب السابقة. ونظرًا لهذه الأهمية توجَّب علينا البحث في السبل المختلفة المناسبة للحفاظ على هذا التراث الثقافي، وذلك بشتى الطرق والوسائل العلمية الحديثة المناسبة لمادة وطبيعة وخواص هذا التراث، ومدى تأثره بالظروف البيئية المحيطة به[١].

الورق هو مادة عضوية تتكون من السيليلوز المستخرج من النباتات[٢]، وهو عبارة عن جزيئات من وحدات الجلوكوز مرتبطة بعضها ببعض، مكوِّنة سلاسل طويلة تمتد من نحو ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ جزيء من الجلوكوز، وترتبط ببعضها بأنواع مختلفة من الروابط الكيميائية لتكوِّن طبقات متماسكة، وكلما زاد طول هذه السلاسل كان الورق أفضل حالًا وأكثر تماسكًا[٣].

تتعرض المخطوطات للعديد من عوامل التلف سواء الفيزيائية أو الكيميائية[٤]، بالإضافة إلى عوامل التلف الداخلية المتمثلة في الشوائب أثناء التصنيع. ومن هذه الشوائب اللجنين والمواد المستخدمة في عملية التبييض للب الورق مثل Bisulfite، وكذلك مواد الصقل مثل الشبَّة Aluminum Sulfate. وتتسبب كل هذه العوامل في رفع درجة الحموضة في الأوراق[٥].

---

(١) Kraková, L, Šoltys, K, Otlewska, A, Pietrzak, K, Purkrtová, S, Savická, D, Puškárová, A, Bučková, M, Szemes, T, Budiš, J, Demnerová, K, Gutarowska, B & Pangallo, D 2018, 'Comparison of Methods for Identification of Microbial Communities in Book Collections: Culture-dependent (sequencing and MALDI-TOF MS) and Culture-independent (Illumina MiSeq)', International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 131, pp. 51–59.

(٢) Seger, K., Physical –chemical characterization of ancient paper, October, 1999.

(٣) حميد، مناف لطيف، وأحمد زغير جلاب، وعلي عبد المحسن عبادة. (٢٠١٩). «تقوية أوراق المخطوط باستخدام مشتقات السليلوز والنشأ وتأثير التقادم الحراري المعجل: دراسة مقارنة». **مجلة القادسية للعلوم الإنسانية**، مج ٢٢ (ع ١).

(٤) Shahani, C.J., "Preservation Research at the Library of Congress", in "Preservation Research and Development", U.S.A., 1993.

(٥) Havermans, J.B.G., et al., The Effects of Air Pollutants on the Accelerated Ageing of Cellulose Containing Materials – Paper, Final Report, Ec/DGXII/ STEP Project, TNO, Delft, 1994.

تعد كلٌّ من العوامل الكيميائية والبيولوجية من عوامل التلف الخارجي[٦]، التي تؤثر في المخطوطات الورقية نتيجة لسوء التخزين، وحفظها في أماكن غير مناسبة لطبيعتها. كما يعد ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين[٧] من أهم الملوثات الكيميائية، التي تتحول بدورها بعد عدة تفاعلات إلى حمض الكبريتيك H_2SO_4 وحمض النيتريك HNO_3 اللذين يتسببان في جفاف الورق وهشاشته[٨].

والهدف من هذه الدراسة هو تشخيص مظاهر تلف بقايا مخطوط قرآني (ملزمة قرآنية)، عبارة عن مجموعة أوراق متلاصقة تحتوي على النص النهائي من سورة «فصلت» وفواتح سورة «الشورى». وتتمثل مظاهر التلف هذه في فقد بعض الأجزاء من هذا المخطوط، وضعف الورق المستخدم وهشاشته، وانتشار التلف الحشري والفطري، وانتشار الاتساخات والأتربة وبعض التكلسات الطينية. (شكل رقم ١)

(٦) سيلفيا دولا بوم، «المواد العضوية»، في **الحفظ في علم الآثار: الطرق والأساليب العلمية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية**، ك. برديكو، ماري، منسق. (٢٠٠٢). ترجمة: محمد أحمد الشاعر، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية.

(٧) Coll, S. J., Air Pollutions and Introduction, Newsletter, Vol. 5, N1, 2002.

(٨) محمد، بهاء الدين. (١٩٨٧). **تجارب معملية عن التلف البيولوجي لورق مخطوط مع تطبيق لبعض طرق العلاج والترميم**، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

شكل رقم (١) يوضح حالة المخطوط الورقي المستخدم للدراسة.

أولًا: الدراسة الوصفية لأوراق المصحف

أ- الطرق الشائعة المستخدمة في عمليات الترميم

تخضع عمليات الترميم لعدد من القواعد التي يتم الحرص على تنفيذها بكل عناية، بدايةً من عملية التسجيل العلمي للمخطوط، مرورًا بعمليات الفحص والتحليل لتوصيف وتشخيص مظاهر التلف الموجودة، ومن ثم تحديد المواد المستخدمة وطرق العلاج المناسبة وفقًا لحالة المخطوط، والتي غالبًا ما تنقسم إلى (تنظيف ميكانيكي - تنظيف كيميائي - تعقيم - تثبيت للأحبار - تقوية - استكمال - خياطة - تغليف - كبس - إعداد حافظة للتخزين)، وغيرها من عمليات العلاج والصيانة والترميم.

ب- الوصف المادي للمخطوط

أبعاد المخطوط

- نظرًا لأن مجموعة الأوراق المستخدمة في الدراسة غير مكتملة، فإن طول كل ورقة منها حسب نسبة الفقد تتراوح ما بين ١٦,٦ و١٣,٢سم تقريبًا.
- عرض الورقة الواحدة ١٥,٥سم باختلاف نسبة الفقد في كل ورقة، وعرض الملزمة ٣١سم تقريبًا.
- عدد الأوراق ١١ ورقة.
- النسخة تحوي آيات قرآنية من المصحف الشريف من سورتَي فصلت والشورى.
- استُخدم في كتابة النصوص الحبر الأسود الكربوني، واللون الأحمر السينبار أو السلاقون في فواصل الآيات، واللونان الأزرق والبني في تخطيط الصفحات.
- فاتحة المجموعة "من شهيد".
- خاتمة المجموعة "وأمرهم شورى بينهم ومما رزقناهم".

شكل رقم (٢) يوضح أبعاد المخطوط.

بصفة عامة تتم عملية التوثيق الكاملة للمجموعة وتأريخها اعتمادًا على السجلات الخاصة بها إذا كانت مسجَّلة. ونظرًا لأن المجموعة الخاصة المستخدمة في هذه الدراسة غير مسجلة أو موثقة تاريخيًّا، كونها ملكية خاصة متوارثة لأحد الأشخاص، وكانت محفوظة بطريقة بدائية داخل أجولة محاطة بالأتربة والرطوبة والملوثات الجوية والحشرات والكائنات الحية الدقيقة، فقد أدى هذا إلى وصولها إلى هذه الحالة المتردية والضعيفة من الحفظ. ومن المرجَّح أن المخطوط يُنسب إلى القرن الـ (١٢هـ/ ١٨م).

وقد اتضح من خلال مقارنة النصوص أن الخط الذي استُخدم في كتابة الآيات القرآنية في المجموعة الخاصة هو خط النسخ[٩]، وتأثر في كتابة حرف العين بخط النستعليق. واستُخدم لكتابة هذا المخطوط حبر أو مداد الكربون Carbon ink، والفواصل من مداد السنبار أو السلقون الأحمر على ورق يدوي الصنع[١٠].

(٩) الخضري، علاء الدين بدوي محمود محمد. (٢٠٢١). «دراسة أثرية فنية ونشر لمصحف شريف من صعيد مصر مؤرخ بسنة ١٢٨٧هـ/ ١٨٧٠م». **مجلة الإتحاد العام للآثاريين العرب**، مج ٢٢ (ع ٢)، ٤٨٢-٥٢٦.

(١٠) زيادة، أحمد حلمي صادق إبراهيم. (٢٠٢٢). «دراسة أثرية فنية لمخطوط مصحف جامع المشهد ببرديس بسوهاج (المؤرخ بسنة ١٣٠٩هـ/ ١٨٩٢م). **مجلة الاتحاد العام للآثاريين العرب**، مج ٢٣ (ع ١)، ٣٤٩-٣٨١.

ت- التوثيق بالرسم

مجموعة خاصة من بقايا مخطوط قرآني، عبارة عن عدد من الصفحات المنفصلة من ملزمة قرآنية يرجَّح عودتها إلى العصر العثماني، به العديد من مظاهر التلف، منها التآكل والثقوب الحشرية، والتلف الفطري، وجفاف وتقصف الأطراف، وبقع واتساخات مختلفة. (شكل رقم ٣)

شكل رقم (٣) يوضح الحدود الخارجية لورقة من أوراق المخطوط، ومطبَّق عليها مظاهر التلف المختلفة.

الرسم الهندسي ثنائي الأبعاد باستخدام برامج الأوتوكاد والفوتوشوب والإليستريتور

تعد عملية التوثيق باستخدام البرامج العلمية الحديثة من أهم إجراءات التسجيل والتوثيق الهندسي للمخطوطات الأثرية، ووسيلة مهمة لتوضيح مظاهر التلف المختلفة الموجودة على المخطوط محل الدراسة، وكذلك أبعاد مظاهر التلف والاتساخات والبقع بشكل دقيق.

شكل رقم (٤) يوضح الحدود الخارجية لورق المخطوط باستخدام برنامج الإليستريتور.

شكل رقم (٥) يوضح خريطة تلف لورقتين من أوراق المخطوط باستخدام برنامج أوتوكاد.

ث- تشخيص مظاهر تلف المخطوط الورقي المختار للدراسة

يتضح لنا من خلال مراحل التوثيق السابقة وجود العديد من مظاهر التلف المختلفة على أوراق المخطوط، ويمكن رصدها فيما يلي:

- بقع ميكروبيولوجية وفطرية.
- أملاح متكلسة على السطح في شكل بثور بيضاء.
- شلفطة أحبار.
- اتساخات وأتربة متراكمة على السطح.
- وجود لاصق ورقي على سطح إحدى الأوراق.
- ثقوب حشرية.
- تقصف وجفاف واهتراء الأطراف.

ثانيًا: الدراسة التحليلية والفحوصات المستخدمة لتشخيص مظاهر تلف أوراق المصحف

تم إجراء الفحوص والتحاليل اللازمة للتعرف على طبيعة المخطوط، وتشخيص مظاهر التلف المختلفة؛ حتى يتسنى لنا التعرف على أسباب التلف.

أ- المجهر الرقمي USB Digital Microscope

استُخدم المجهر الرقمي في فحص المظهر السطحي للورق وأحبار الكتابة، لمعرفة مدى التلف الذي تعرضت له أوراق المخطوط.

نتائج الفحص باستخدام المجهر الرقمي

من خلال مقارنة النتائج بين عينة الورق القياسية وأوراق المخطوط بالمجهر الرقمي، تبين حدوث اصفرار وفَقْد الطبقة المالئة والرابطة لألياف الورق، وهذا يدل على مدى التلف الذي تعرضت له أوراق المخطوط، وكذلك بعض مظاهر التلف الأخرى مثل البقع الفطرية، وتكلسات طينية، وتهتك وتقطع الألياف السيليلوزية، وضعف الألياف في منطقة الكعب، وفقدان خيط تجميع الأوراق، وانتشار الثقوب والتآكل الناتج عن التلف الحشري، وانتشار التبقعات الناتجة عن التلف الميكروبيولوجي، وبهتان وضعف وفقد الأحبار، وانتشار بصمات الأصابع بالمخطوط، وتزهُّر الأملاح في شكل بثور في أجزاء أخرى من المخطوط[١١] (أشكال: ٦-٧-٨-٩-١٠)

(١١) Caroline, B (2010) damaged book, Esmée Fairbairn, Preservation Advisory Center, British Library, ACR, ISBN 978 0 7123 5097 6, 5390–09/11.

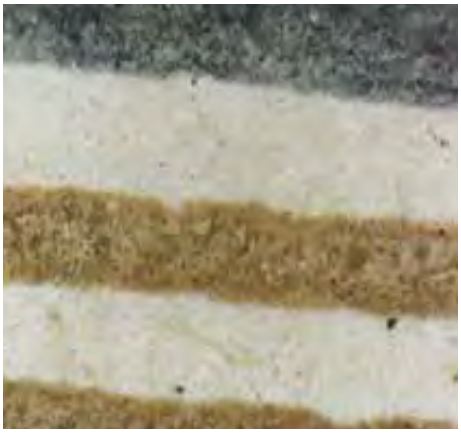
صورة (A)

صورة (B)

شكل رقم (٦) توضح صورة (A) الشكل السطحي للورق القياسي. وتوضح صورة (B) الشكل السطحي لورق المخطوط، ويتضح بها فقد المواد الرابطة والمالئة للألياف.

صورة (A)

صورة (B)

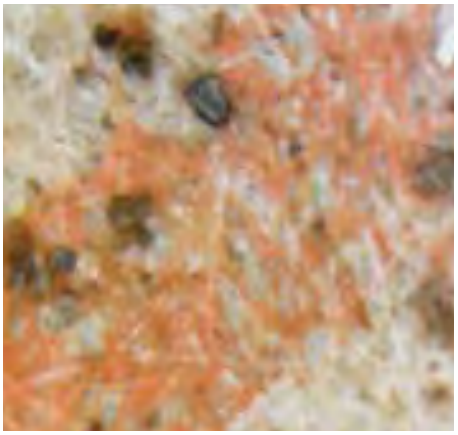


صورة (C)

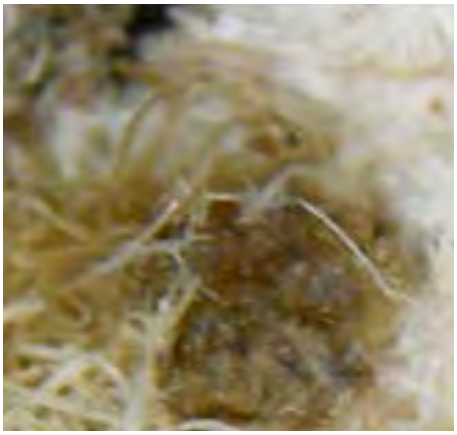
صورة (D)

شكل رقم (٧)

توضح صورة (A) تفكك وتقشر الحبر الأسود عن الأوراق. وتوضح صورة (B) انتشار البقع والأتربة على الحبر الأحمر وبهتانه في بعض الأجزاء. وتوضح صورة (C) الخطوط المحددة للنص من اللونين البني والأزرق، ويظهر بها بهتان وتقشر للحبر. وتوضح الصورة (D) أماكن الإصابة الحشرية وبهتان أحبار الكتابة.



صورة (A)



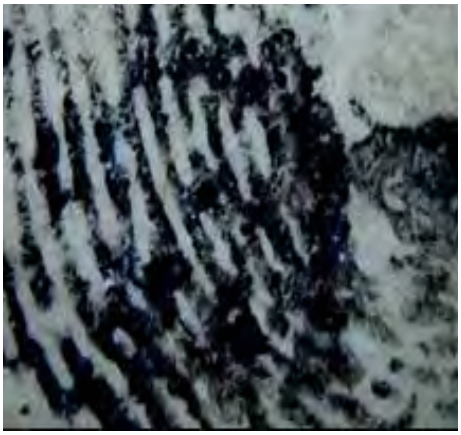
صورة (B)

صورة (C)

صورة (D)

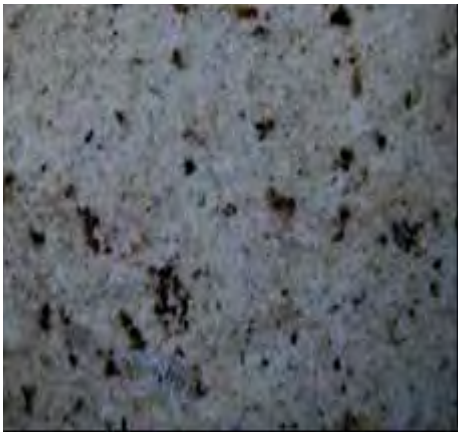
شكل رقم (٨)

توضح صورة (A) بهتان وانفصال طبقة الحبر الأحمر المغطى ببعض الأتربة. وتوضح صورة (B) بقع بنية اللون ناتجة عن التلف البيولوجى. وتوضح صورة (C) تهتك الألياف وفقدان الطبقة المالئة. وتوضح صورة (D) التآكل بالأوراق والثقوب.



صورة (A)

صورة (B)



صورة (C)

صورة (D)

شكل رقم (٩)

تُظهر صورة (A) بصمة أصابع بالمداد الأسود في هامش ورق المخطوط. وتوضح صورة (B) بهتان وانفصال الطبقة السطحية الكثيفة من الحبر الأسود في جزء من الكلمة، وثباته في الجزء الآخر. وتُظهر صورة (C) دكانة الأوراق وتبقعها نتيجة الإصابة الفطرية. وتُظهر صورة (D) تأثر الأحبار المستخدمة.

صورة (A)

صورة (B)

صورة (C)

صورة (D)

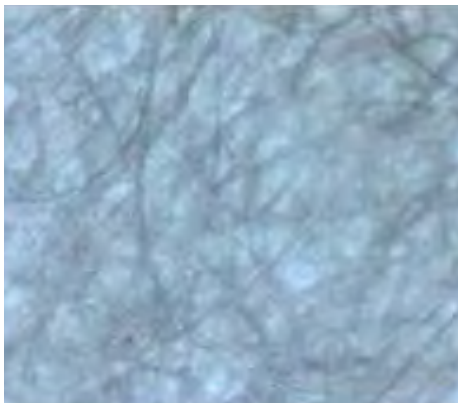
شكل رقم (١٠)

توضح صورة (A) تبقع أوراق المخطوط، وتهتك الألياف، وانفصال الأحبار. وتوضح صورة (B) تآكل أوراق المخطوط. وتوضح صورة (C) وجود لاصق ورقي أعلى أوراق المخطوط قد تكون محاولة استكمال قديمة. ويظهر في صورة (D) ثقوب حشرية وتآكل.

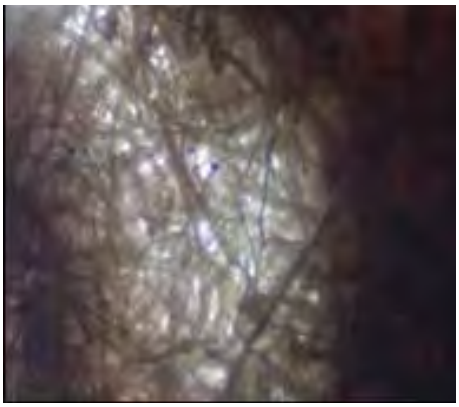
ب- الفحص باستخدام الميكروسكوب الضوئي

استُخدم الميكروسكوب الضوئي في تصوير العينات القياسية وعينة من أوراق المخطوط المتساقطة، وذلك من خلال تكبيرات مختلفة لفحص ألياف المخطوط، ومقارنتها بالعينات القياسية، لتحديد مظاهر التلف المختلفة وتصويرها بصورة واضحة.

ومن خلال هذه الطريقة يمكن إظهار التفاصيل الدقيقة الخاصة بسطح الأثر، وما به من جراثيم فطرية واتساخات سطحية تسببت في طمس الزخارف والكتابات.



صورة (A)



صورة (B)

صورة (C)

صورة (D)

شكل رقم (١١)

توضح صورة (A) شكل الألياف للعينة القياسية. وتوضح صورة (B) شكل الألياف لعينة أوراق المخطوط موضوع الدراسة. وتوضح صورة (C) الجراثيم الفطرية لفطر أسبراجلس نيجر على ألياف المخطوط. وتوضح صورة (D) تهتك ألياف المخطوط.

ت- الفحص والتحليل باستخدام الميكروسكوب الإلكتروني الماسح SEM المزود بوحدة EDX

من خلال الفحص بالميكرسكوب الإلكتروني الماسح تم التعرف على نوعية الورق المستخدمة في المخطوط، بعد مقارنتها بالعينات القياسية. ومن خلال هذا الفحص أيضًا تم التعرف على مظاهر التلف الداخلية للألياف ومدى تعرضها للتهتك والضعف[١٢]، بالإضافة إلى التعرف على مدى ارتباط مظاهر التلف المختلفة وتداخلها مع الألياف، وتوضيح أماكن الإصابات الفطرية التي تظهر من خلال نمو الجراثيم الفطرية. كما استُخدم الفحص لمعرفة مدى التلف بطبقة الألوان والأحبار من ضعف وتشقُّق وانفصال عن الطبقة السطحية للمخطوط[١٣].

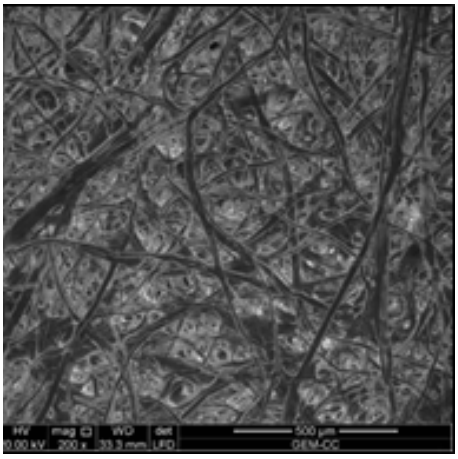
نتائج الفحص والتصوير باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني الماسح

بعد مقارنة عينة الورق القياسية بعينة من أوراق المخطوط المتساقطة تبين الآتي:

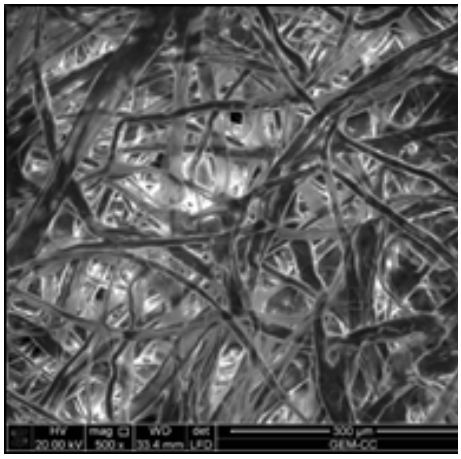
- يتكون ورق المخطوط من ألياف القطن السيليلوزية.
- تدهور وتلف وتهتك ألياف السيليلوز المكوِّنة للورق.
- انفصال وفَقْد المواد الرابطة والمالئة المستخدمة، مثل الكالسيت والنشا والكاولين.
- وجود شروخ وقطع في ألياف السيليلوز المكوِّنة للورق، مما يؤدي إلى ضعف في خواصها الميكانيكية.

(١٢) Hassan, R. R. A., Ali, M. F., Fahmy, A. G. A., Ali, H. M., & Salem, M. Z. (2020). Documentation and evaluation of an ancient paper manuscript with leather binding using spectrometric methods. Journal of Chemistry, 2020.

(١٣) حسن، رشدية ربيع علي. (٢٠١٢). **دراسة تجريبية على بعض مواد وطرق معالجة مظاهر التلف الناتجة عن التأثيرات المتبادلة مابين جلود الكتب نباتية الدباغة والورق**، رسالة دكتوراه، كلية الآثار، جامعة القاهرة.



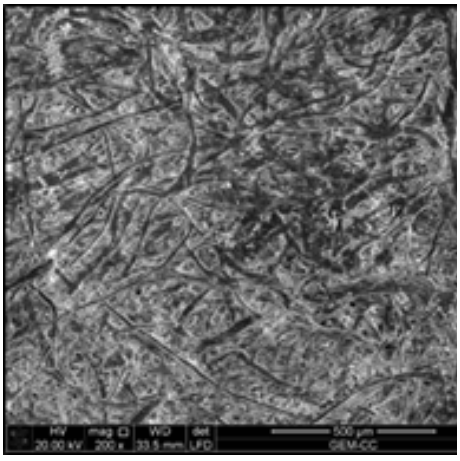
صورة (A)



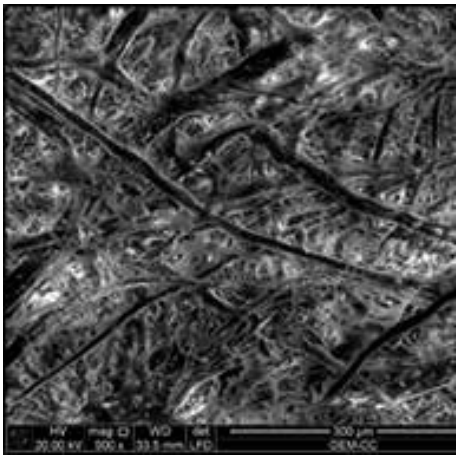
صورة (B)

شكل رقم (١٢)

توضح صورة (A) للعينة القياسية تداخل وتشابك ألياف القطن السيليلوزية (قوة التكبير ٢٠٠ مرة). وتوضح صورة (B) شكل الألياف بصورة أوضح واتصال بعضها ببعض (قوة التكبير ٥٠٠ مرة).



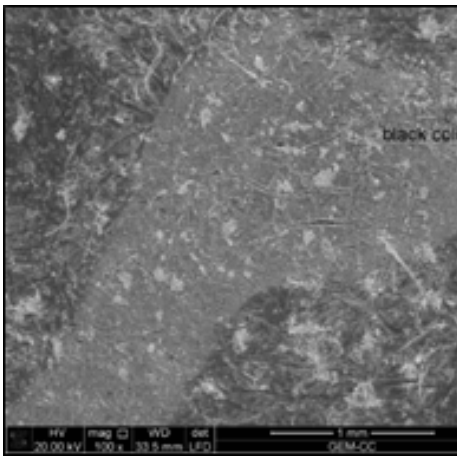
صورة (A)



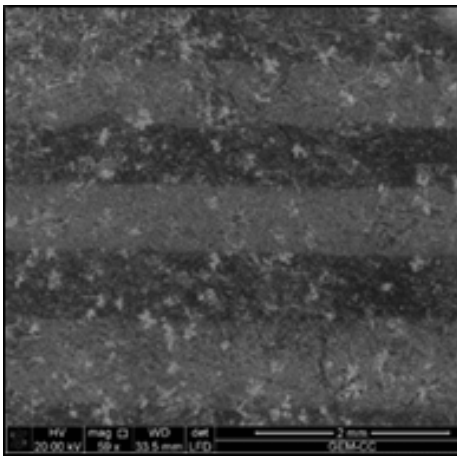
صورة (B)

شكل رقم (١٣)

توضح صورة (A) ألياف القطن السيليلوزية المغطاة تمامًا بالجراثيم الفطرية وضعف الألياف (قوة التكبير ٢٠٠ مرة). ويظهر بصورة (B) شكل الجراثيم الفطرية لفطر الأسبراجلس نيجر بكثافة حول ألياف المخطوط (قوة التكبير ٥٠٠ مرة).



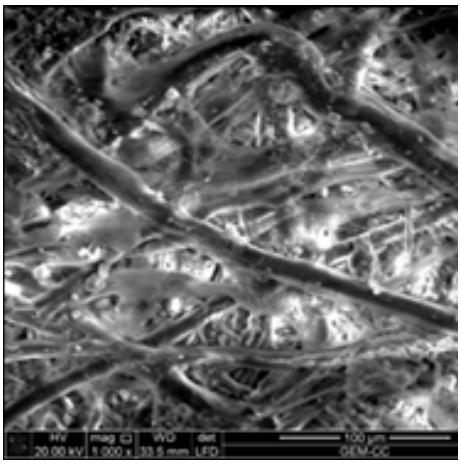
صورة (A)



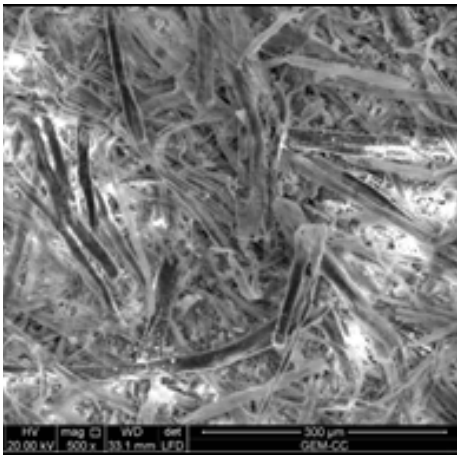
صورة (B)

شكل رقم (١٤)

توضح صورة (A) ألياف القطن السيليلوزية المغطاة تمامًا بالجراثيم الفطرية وضعف الألياف (قوة التكبير ٢٠٠ مرة). ويظهر بصورة (B) شكل الجراثيم الفطرية لفطر الأسبراجلس نيجر بكثافة حول ألياف المخطوط (قوة التكبير ٥٠٠ مرة).



صورة (A)



صورة (B)

شكل رقم (١٥)

توضح صورة (A) السطح الخارجي لأوراق المخطوط، حيث يلاحظ فقدان المواد المالئة، وضعف وتهتك الألياف، وتقشر طبقة اللون لحبر الكتابة الأسود (قوة التكبير ١٠٠ مرة). وتوضح صورة (B) خطوط تسطير حدود النص (قوة التكبير ٥٩ مرة).

يظهر بصورة (A) تكسر الألياف وتدهورها وضعفها وفقدان المواد الرابطة، وكذلك الجراثيم الفطرية والاتساخات والمواد العالقة بالألياف (قوة التكبير ١٠٠٠ مرة). ويظهر بصورة (B) تكسر الألياف (قوة التكبير ٥٠٠ مرة).

ث- التحليل باستخدام Scanning Electron Microscope (EDX)

استُخدمت وحدة الـ EDX الملحقة بالميكرسكوب الإلكتروني الماسح؛ حيث يعد التحليل بوحدة تشتت الأشعة السينية من الطرق الحديثة في عمليات الفحص والتحليل للعناصر الموجودة بالمخطوط. ويمكن من خلالها التعرف على الأحبار والعناصر المكوِّنة لها، بالإضافة إلى النسب المئوية لكل عنصر منها في العينة، وتتميز هذه الطريقة بأنها تعطي تحليلًا كميًّا وكيفيًّا شاملًا ودقيقًا لهذه العناصر.

نتائج تحليل وفحص الأحبار المستخدمة في المخطوط محل الدراسة باستخدام EDX

الحبر الأسود

من خلال الفحص والتحليل للون الأسود المكوِّن الأساسي لحبر الكتابة، تبين أنه عبارة عن حبر كربوني، وهو أول حبر كتابة عُرف في التاريخ(١٤). وكان يجهَّز من أقراص صغيرة من المادة الصلبة، وتُطحن مادة اللون وتُمزج مع الصمغ وتُترك لتجف. وكانت المادة الملونة هي إما سناج وإما مسحوق الفحم، والمادة الرابطة هي الصمغ العربي. ويتضح ذلك من خلال الجداول المرفقة التي يتضح بها وجود عنصر الكربون والأكسجين بنسب متفاوتة (وهما العنصران الأساسيان في الورق والحبر الكربوني، بجانب عنصر ثالث أساسي وهو الهيدروجين، ولكن لا تظهر نسبته عند التحليل بطريقة التفلور بالأشعة السينية لأنه لايتأثر بها). كما يشير الجدول إلى وجود بعض العناصر الأخرى التي قد توجد كشوائب في الورق بنسبة صغيرة، أو من الأتربة البيئية مثل الألومنيوم AL، كما أن وجود عنصر الكالسيوم Ca يرجِّح استخدام كربونات الكالسيوم $CaCo_3$ كمادة مالئة أثناء صناعة الورق لتحسين خواص سطح الورق بإعطائه سطحًا ناعمًا متجانسًا وصالحًا للكتابة(١٥).

(١٤) Mazen, B. S. M., Ismail, B. M., Hassan, R. R. A., & Ali, M. (2021). Damage caused by black inks to the chemical properties of archaeological papyrus–analytical study. Pigment & Resin Technology.

(١٥) Waters, C.E., Inks, Circular of the National Bureau of Standards C413, U.S., Department of Commerce, Issued December 28, 1936.

شكل رقم (١٦) يوضح عينة ورقية متساقطة من المخطوط، عليها خط كتابي باللون الأسود بالحبر الكربوني، ومحدد عليها الخمس نقاط التي أُخذ عليها تحليل EDX.

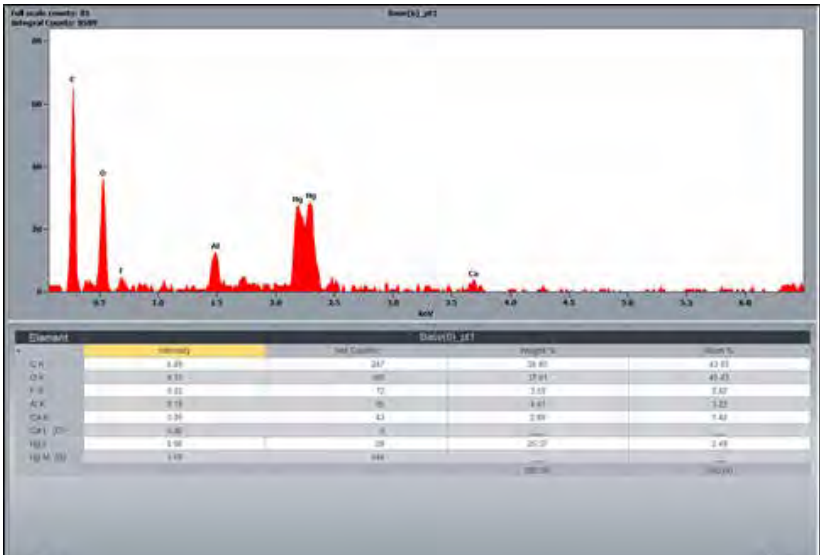
شكل رقم (١٧) يوضح نسب العناصر المكوِّنة للحبر الأسود.

الحبر الأحمر

توضح نتائج التحليل باستخدام EDX وجود مركب سينبار، وهو معدن كبريتيد الزئبق (HgS) بنسبة كبيرة، ويعرف بالزنجفر. واستُخدم هذا المعدن كمصدر للحبر الأحمر عن طريق خلطه بعصير الرمان، وإضافة الوسيط الرابط إليه. وقد انتشر استخدام السينبار في العصر الإسلامى كمصدر للحبر الأحمر. وتظهر كذلك بعض العناصر الأخرى مثل الكالسيوم Ca، الذي قد يكون نتيجة لاستخدام كربونات الكالسيوم CaCo3 كمادة مالئة أثناء صناعة الورق، وذلك نتيجة لاستخدام الورق الطباشيري في الصناعة في تلك الفترة، وكذلك وجود عنصر الألومنيوم AL والفلور F، وقد يكون وجودهما نتيجة شوائب في الورق(١٦).

شكل رقم (١٨) يوضح عينة ورقية متساقطة من المخطوط تحوي حبرًا أحمر، وموضح عليها نقاط التحليل بوحدة تشتيت الأشعة السينية EDX.

(١٦) L. Hamerton, L. Tedaldi, N. Eastaugh, Systematic Examination of Color Development in Synthetic Ultramarine According to Historical Methods, PLOS ONE, 8(2), 2013, e50364r, www.plosone.org



شكل رقم (١٩) يوضح أهم العناصر المكونة لحبر الكتابة الأحمر.

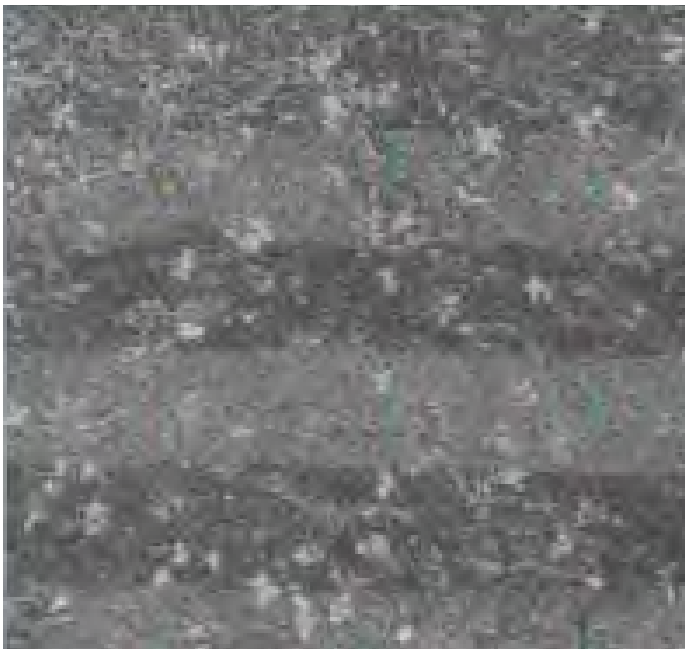
خطوط تحديد الإطار المحيط بالنص القرآني (بني وأزرق)

اللون الأزرق

الحبر الأزرق هو عبارة عن أزرق الألترامارين Ultramarine (Lazurite) $Sio_2Al_2O_3Na_2os$، وذلك نظرًا لوجود العناصر الآتية: السيليكا Si - الألومنيوم Al - الصوديوم Na - الكبريت S.

وظهور عنصر الكلور C_l نظرًا لاستخدام مادة الكلورين كعامل تبييض للورق، كما أن وجود عنصر الكالسيوم Ca ناتج عن استخدام كربونات الكالسيوم $CaCo_3$ كمادة مالئة أثناء صناعة الورق، وذلك نتيجة لاستخدام الورق الطباشيري في تلك الفترة، كما أن عنصر الكالسيوم كان يُستخدم لتحسين خواص سطح الورق، بإعطائه سطحًا ناعمًا متجانسًا وصالحًا للكتابة[١٧].

(١٧) Lucia Burgio, Robin J.H. Clark, Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation London, 2000, P.1492-1514.



شكل رقم (٢٠) يوضح شكل خطوط تحديد الإطار الخارجي للنص، وهي مكونة من اللونَيْن الأزرق والبني.

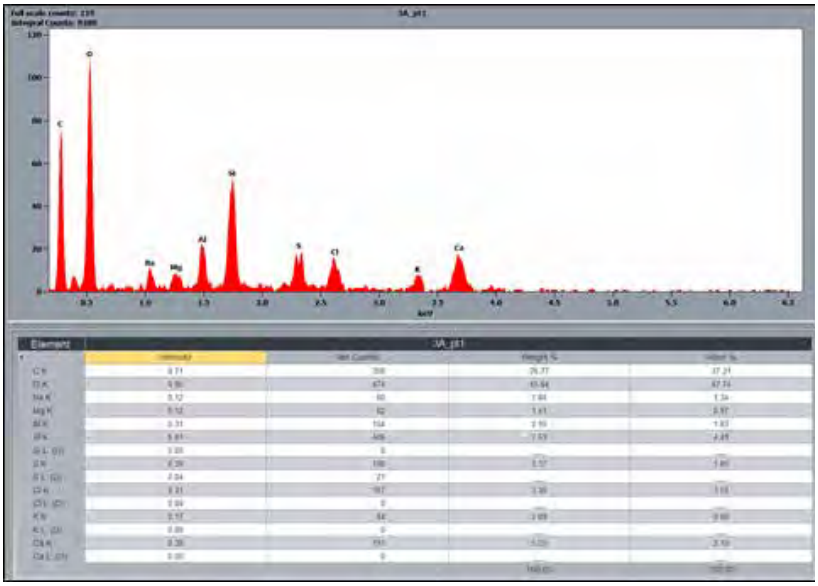
اللون البني

اللون البني كثيرًا ما يكون مستخرجًا من مصدر عضوي مثل نبات الكاد الهندي Cutch، الذي يتم الحصول عليه من أخشاب شجر السنط، والمادة الصابغة فيه هي Catechin، التي غالبًا ما تحتوي على التانين كمادة مصاحبة[١٨] $C_{15}H_{14}O_6$.

- وجود عنصر الصوديوم Na يرجع لاستخدام الصودا الكاوية NaOH في تصنيع الورق.
- وجود عنصر الألومنيوم Al والبوتاسيوم K والكبريت S نتيجة لاستخدام كبريتات البوتاسيوم والألومنيوم المائية (الشبَّة) Al K(So_4).12H2o أثناء تصنيع الورق.

(١٨) Barrow, W.J., Manuscripts and Documents – Their Deterioration and Restoration, Virginia Press, Charlottesville, 1995.

- ظهور عنصر الألومنيوم Al والسيليكا Si ناتج عن استخدام الكاولينيت Kaolinite Al $_2Si_2O_5$ (OH_4) كمادة مالئة أثناء تصنيع الورق.
- ارتفاع نسبة الأكسجين في العينات تشير إلى تدهور ألياف السيليلوز.



شكل (٢١) يوضح أهم العناصر المكوِّنة لحبر الكتابة الأزرق والبني.

طريقة أخرى للتعرف على نوع حبر الكتابة بجانب تحليل EDX

تم التعرف على نوع حبر الكتابة المستخدم في المخطوط محل الدراسة، وذلك بعمل اختبار كيميائي للحبر باستخدام حمض الخليك المخفف ١٪ إلى جانب الورق الماص، مع إضافة نقطة من محلول مخفف من فيروسيانيد البوتاسيوم. وعند ملاحظة عدم ظهور لون أزرق بروسي يكون هذا دليلًا على أن الحبر الأسود هو حبر كربوني.

ج- قياس درجة الحموضة PH

يعد قياس PH من أهم القياسات التي تحدد درجة الحموضة للعينات الورقية الأثرية، والتي يعتمد عليها الباحثون في تقييم تلف المخطوطات الورقية، حتى يتسنى لنا تحديد مدى احتياج المخطوط لإزالة الحموضة وضبط قمة الأس الهيدروجيني لها.

أظهرت نتائج القياس أن قيمة الأس الهيدروجيني لأوراق المخطوط كانت ٨,٦، وبمقارنتها بنتائج قياس العينة القياسية كانت ٥,٢١، تبين أن قيمة الأس الهيدروجيني لأوراق المخطوط هي في المعدل الطبيعي، ولا تحتاج إلى معالجة أو معادلة الحموضة[١٩]، ويرجح ذلك نتيجة استخدام كربونات الكالسيوم القاعدية كمادة مالئة أثناء تصنيع الورق. وتمت عملية قياس الحموضة PH بالمركز القومي للبحوث بطريقة الاستخلاص على البارد، وذلك بغمر العينات في الماء المقطر عند درجة حرارة الغرفة، حيث تم غمر ٠,٢ جرام من العينة في ١٠٠ ملي من الماء المقطر لمدة ٦ ساعات (Larsen, 2004)[٢٠]. ويرجَّح أن يكون سبب اصفرار الأوراق الإصابة الفطرية التي تؤدي إلى تقادم فطري وميكروبيولوجي للأوراق، ويعطيها مظهر الاصفرار الناتج عن البقع والإفرازات الفطرية، ويتشابه مع الاصفرار الناتج عن حموضة الورق.

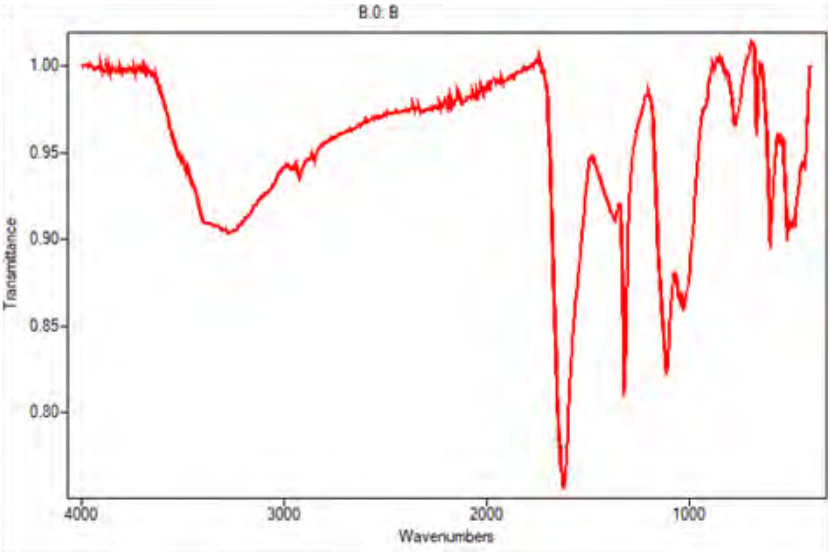
ح- التحليل باستخدام طيف الأشعة تحت الحمراء لأوراق المخطوط FTIR لمعرفة نوع الوسيط المستخدمة في أحبار الكتابة

بقياس الطيف لعينات من أوراق المخطوط المتساقطة المحتوية على أحبار (أسود، أحمر، بني، أزرق)، وتحديد المجموعات الوظيفية لها، ومقارنتها بطيف الصمغ العربي والمجموعات الوظيفية المميزة له؛ اتضح لنا وجود تشابه في كل مناطق الروابط المميزة لها، مما يدل على نقاء العينة

(١٩) ععبد الباقي، صلاح عبد العال عبد الباقي. (٢٠٢١). «تأثير الحموضة على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمخطوطات الورقية». **مجلة البحوث في مجالات التربية النوعية**، مج ٧ (ع ٣٣)، ١٥٣٣-١٥٥١..

(٢٠) Abdel-Maksoud, G. (2011) Analytical techniques used for the evaluation of a 19th century qur'anic manuscript conditions, Measuremen 44, 1606–1617.

وعدم اختلاطها بمواد أخرى، وأن وسيط الحبر هو الصمغ العربي[٢١]. واستُخدم جهاز التحليل لطيف الأشعة تحت الحمراء في معمل ترميم متحف الفن الإسلامي على جهاز BRUKER (ALPHA) PLATINUM-ATR باستخدام الطريقة الصلبة؛ حيث ظهرت المجموعات الوظيفية الأساسية المكوِّنة للصمغ العربي، وهي مد رابطة (OH) التي ظهرت عند ٣٢٨٢ سم$^{-١}$، ومد رابطة (C=C) التي ظهرت عند ١٦١٩ سم$^{-١}$، ومد رابطة (C-O) التي ظهرت عند ١٠٤٩سم$^{-١}$.



شكل (٢٢) يوضح تحليل عينة من أوراق المخطوط باستخدام FTIR لمعرفة نوع الوسيط المستخدم في أحبار الكتابة.

(٢١) Kipphan, H., Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods, Springer, 2001.

الخاتمة

أولًا: الاستنتاجات

- أظهر الفحص والتصوير بالمجهر الرقمي لصفحات مختلفة من أوراق المخطوط، تعرُّضه لمظاهر مختلفة ومتنوعة من التلف وتهتك للألياف.
- أظهر الفحص والتصوير باستخدام الميكرسكوب الضوئي إصابة أوراق المخطوط بالتلف الفطري، وأن أكثر أنواع الفطريات هيمنةً على المخطوط هما فطر أسبراجلس نيجر وأسبراجلس فلافيوس، اللذان أسهما بدورهما في إصابة المخطوط ببقع فطرية على السطح.
- أظهرت الدراسة أنواع الأحبار المستخدمة في المخطوط باستخدام جهاز التحليل EDX الملحق بالميكرسكوب الإلكتروني الماسح، وهي كالتالي: اللون الأسود وهو الحبر الكربوني، واللون الأحمر وهو السينبار (كبريتيد الزئبق)، واللون الأزرق وهو أزرق الألترامارين، واللون البني وهو من التانين، كما أظهر التحليل باستخدام جهاز FTIR أن نوع الوسيط المستخدم في الحبر هو الصمغ العربي.
- أظهر التحليل باستخدام الميكرسكوب الإلكتروني الماسح أن ألياف الورق عبارة عن ألياف قطن سيليلوزية، كما أظهر بوضوح مظاهر التلف المختلفة للألياف ومناطق الإصابة الفطرية.
- أظهر التحليل باستخدام طيف الأشعة تحت الحمراء حدوث أكسدة وتحلل مائي للورق.
- أظهر قياس PH الأس الهيدروجيني لعينة من أوراق المخطوط تساوي ٥,٢١.

ثانيًا: التوصيات

- الكشف الدوري على الكتب والمخطوطات والوثائق التاريخية المحفوظة بدور العرض والمتاحف والمخازن والمكتبات، للوقوف على مدى إصابتها بالفطريات وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة، وعزل المخطوطات المصابة، وتعقيم صالات العرض في الوقت المناسب، ومعالجتها أولًا بأول، ومحاولة الوقاية منها.
- يجب تهيئة الظروف الملائمة من رطوبة وحرارة وضوء وغيرها لتثبيط الفطر، والوقاية من إصابة الكتب والمخطوطات والوثائق بالفطريات وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة مستقبلًا.
- يجب التعرف جيدًا على طبيعة المواد المستخدمة في صناعة المخطوط، ومدى قابليتها للإصابة بالفطريات وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة.
- يجب الاحتفاظ بالكتب والمخطوطات داخل خزانات محكَمة الغلق، للتحكم في درجة الرطوبة والحرارة المناسبة للوقاية من التلف الميكروبيولوجي بفعل الفطريات وغيرها من الكائنات الحية الدقيقة، وكذلك حمايتها من الهواء المحمَّل بالأتربة أو الأملاح أو إذا ما كانت أماكن الحفظ بالقرب من الأماكن الساحلية.
- عدم القيام بأعمال الترميم للمخطوطات التي قد يترتب عليها محو أو تغيير أو تشويه مظهر المخطوط أو التأثير على الأحبار والكتابات، أو الإضرار بمادة المخطوط أو إضعافها، والاكتفاء بالقدر الضروري من عمليات العلاج والترميم وعدم الإفراط فيها.
- يجب استخدام مواد علاج وترميم استرجاعية، بحيث يسهل إزالتها إذا ما تتطلب ذلك مستقبلًا، ويجب ضمان أن تكون هذه المواد لا تتفاعل كيميائيًّا مع مادة المخطوط بطريقة تؤدي إلى الإضرار بها.
- ضرورة إزالة آثار المواد الكيميائية المستخدمة في إزالة البقع، وذلك يتم عادة بغمر الأوراق المعالَجة في الماء المقطر لمدة تتراوح من ١٠ إلى ٢٠ دقيقة على الأقل.

- وبعد، فالحمد لله الذي هدانا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدانا الله، والصلاة والسلام على أشرف الخلق أجمعين، سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين، اللّٰهُمَّ ما كان من توفيق فمن الله، وما كان من خطأ أو ذلل أو نسيان فمني ومن الشيطان. وأرجو أن يتزايد الاهتمام بمجال حفظ وصيانة مواد التراث الثقافي، لما تحمله لنا من إرث حضاري لا يمكن التغاضي عنه أو تجاهله، وأن تزوَّد معامل الترميم بأجهزة الفحص والتحليل اللازمة والضرورية لكي تتم عمليات الترميم بالشكل العلمي السليم، بناءً على أسس ومعايير علمية.

المراجع

أولًا: المراجع العربية

- تركستاني، حورية عبد الله. (٢٠١٤). «التوثيق ودوره في إبراز تاريخ القطع التراثية: نموذج متحف مجالس الإحياء بجمعية أم القرى. **مجلة بحوث التربية النوعية**، (ع ٣٥)، ٤١٨-٤٤٦.
- حسن، رشدية ربيع علي. (٢٠١٢). **دراسة تجريبية على بعض مواد وطرق معالجة مظاهر التلف الناتجة عن التأثيرات المتبادلة مابين جلود الكتب نباتية الدباغة والورق**، رسالة دكتوراه، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
- حميد، مناف لطيف، وأحمد زغير جلاب، وعلي عبد المحسن عبادة. (٢٠١٩). «تقوية أوراق المخطوط باستخدام مشتقات السليلوز والنشأ وتأثير التقادم الحراري المعجل: دراسة مقارنة». **مجلة القادسية للعلوم الإنسانية**، مج ٢٢ (ع ١).
- الخضري، علاء الدين بدوي محمود محمد. (٢٠٢١). «دراسة أثرية فنية ونشر لمصحف شريف من صعيد مصر مؤرخ بسنة ١٢٨٧هـ/ ١٨٧٠م». **مجلة الإتحاد العام للآثاريين العرب**، مج ٢٢ (ع ٢)، ٤٨٢-٥٢٦.
- زيادة، أحمد حلمي صادق إبراهيم. (٢٠٢٢). «دراسة أثرية فنية لمخطوط مصحف جامع المشهد ببرديس بسوهاج (المؤرخ بسنة ١٣٠٩هـ/ ١٨٩٢م). **مجلة الاتحاد العام للآثاريين العرب**، مج ٢٣ (ع ١)، ٣٤٩-٣٨١.
- عبد الباقي، صلاح عبد العال عبد الباقي. (٢٠٢١). «تأثير الحموضة على الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمخطوطات الورقية». **مجلة البحوث في مجالات التربية النوعية**، مج ٧ (ع ٣٣)، ١٥٣٣-١٥٥١.
- عبد المنعم، حمدي محمد عبد العال. (٢٠١١). **دراسة علمية في المعالجات الكيميائية للمخطوطات الورقية الأثرية مع التطبيقات العملية في هذا المجال**، رسالة دكتوراه، كلية الآثار، جامعة القاهرة.

- عبد الناصر، محمود إبراهيم محمد. (٢٠١٨). **دراسة تجريبية لتقيم دور المواد النانوية في زيادة كفاءة الإنزيمات المستخدمة في إزالة بقع المخطوطات الورقية والمشغولات الجلدية مع التطبيق العملي على نموذج تاريخي مختار**، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
- علام، محمد محمود سليم. (٢٠١٨). **دراسة علمية في تقنيات علاج وصيانة الطوابع التاريخية تطبيقا على أحد النماذج المختارة**، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
- فريق مشروع الصيانة. (٢٠١٩). «صيانة المخطوط الرَّقِّي مصاحف رصيد ١٣٩ المحفوظ بدار الكتب المصرية». **دورية علوم المخطوط**، ع ٢، ٣١٧-٣٦٤.
- ك. برديكو، ماري، منسق. (٢٠٠٢). **الحفظ في علم الآثار: الطرق والأساليب العلمية لحفظ وترميم المقتنيات الأثرية**، ترجمة: محمد أحمد الشاعر، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية.
- محمد، بهاء الدين. (١٩٨٧). **تجارب معملية عن التلف البيولوجي لورق مخطوط مع تطبيق لبعض طرق العلاج والترميم**، رسالة ماجستير، كلية الآثار، جامعة القاهرة.
- محمود، حسام الدين عبد الحميد. (١٩٨٤). **المنهج العلمي لعلاج وصيانة المخطوطات والأخشاب والمنسوجات الأثرية**، القاهرة: الهيئة المصرية العامة للكتاب.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

- Kraková, L, Šoltys, K, Otlewska, A, Pietrzak, K, Purkrtová, S, Savická, D, Puškárová, A, Bučková, M, Szemes, T, Budiš, J, Demnerová, K, Gutarowska, B & Pangallo, D 2018, 'Comparison of methods for identification of microbial communities in book collections: Culture-dependent (sequencing and MALDI-TOF MS) and culture-independent (Illumina MiSeq)', International Biodeterioration & Biodegradation, Vol. 131, pp. 51–59.
- Seger, K., Physical –chemical characterization of ancient paper, October, 1999.

- Shahani, C.J., “Preservation Research at the Library of Congress”, in “Preservation Research and Development”, U.S.A., 1993.
- Havermans, J.B.G., et al., The Effects of Air Pollutants on the accelerated Ageing of Cellulose Containing Materials- Paper, Final report, Ec/DGXII/ STEP project, TNO, Delft, 1994.
- Coll, S. J., Air Pollutions and Introduction, Newsletter, Vol. 5, N1, 2002.

Caroline, B (2010) damaged book, Esmée Fairbairn, preservation advisory center, British Library, ACR, ISBN 978 0 7123 5097 6, 5390–09/11.

- Hassan, R. R. A., Ali, M. F., Fahmy, A. G. A., Ali, H. M., & Salem, M. Z. (2020). Documentation and evaluation of an ancient paper manuscript with leather binding using spectrometric methods. Journal of Chemistry, 2020.
- Mazen, B. S. M., Ismail, B. M., Hassan, R. R. A., & Ali, M. (2021). Damage caused by black inks to the chemical properties of archaeological papyrus–analytical study. Pigment & Resin Technology.
- Waters, C.E., Inks, Circular of the National Bureau of Standards C413, U.S., Department of Commerce, Issued December 28, 1936.
- L. Hamerton, L. Tedaldi, N. Eastaugh, Systematic Examination of Color Development in Synthetic Ultramarine According to Historical Methods, PLOS ONE, 8(2), 2013, e50364r, www.plosone.org.
- Lucia Burgio, Robin J.H. Clark, Library of FT-Raman spectra of pigments, minerals, pigment media and varnishes, and supplement to existing library of Raman spectra of pigments with visible excitation. London, 2000, P.1492-1514.
- Barrow, W.J., Manuscripts and Documents – Their Deterioration and Restoration, Virginia Press, Charlottesville, 1995.

- Abdel-Maksoud, G. (2011) Analytical techniques used for the evaluation of a 19th century quranic manuscript conditions, Measuremen 44, 1606–1617.
- Kipphan, H., Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods, Springer, 2001.
- Schwanninger, M., Rodrigues, J.C., Pereira, H. and Hinterstoisser, B. (2004). Effects of short-time vibratory ball milling on the shape of FT-IR spectra of wood and cellulose. Vibrational Spectroscopy, 36(1), pp.23–40. doi:10.1016/j.vibspec.2004.02.003.