ISSN: 1817-6798 (Print)
Journal of Tikrit University for Humanities
available online at: http://www.jtuh.tu.edu.iq

Reviving the Ancestral Heritage: Revival and Restoration of Faded and Scrapped-Iron Gallotannin Inks in Archaeological and Historical Manuscripts and Document

Dr: Madian Hamed Abdel hady Mahmoud

Fayoum University/ Faculty of archaeology

* *Corresponding author: E-mail* : **Mha02@fayoum.edu.eg or manus.conservator@gmail.com**
00201010696260

***Keywords*:**
Inks
Gallotannins
Fading
Palimpsests
Revival

A R T I C L E I N F O

Article history:
Received 1 Mar. 2020
Accepted 9 Nov 2020
Available online 2 Mar 2021
E-mail
journal.of.tikrit.university.of.humanities@tu.edu.i
E-mail : adxxxx@tu.edu.iq

A B S T R A C T

In the past years, scientific research neglected the issue of reviving the faded writings of manuscripts or treating scraped ones (*Palimpsests*), which led to the loss of many valuable manuscripts. So, the research tries to address this approach by experiments for the first time - *far away on the suspicion of forgery or counterfeiting of its originals*- by using extracts of natural materials that were previously used in preparing their inks by their copyists or authors, this to preserve their original chemical composition without alteration. In this regard, the research followed the scientific method in formulating the new experiment from sampling, passing through the evaluation methods using a spectrophotometer and the rust indicator for the oxidized samples, then the interactions that explain its hypotheses, and finally by discussing the results. The experiment was done by treating five of inks on thermal- aged, scraped or dilute sulfuric acid- swabbed samples, which were all treated using ten concentrated solutions of gallotannins, normally or excited by ultrasound, and it was found that the best results were by solutions of pyrogallol, tannic acid, gall, and myrobalan respectively, but the ultrasound excitation was effective only in terms of covering strength and homogeneity.

© 2021 JTUH, College of Education for Human Sciences, Tikrit University

DOI: http://dx.doi.org/10.25130/jtuh.28.3.2.2021.18

Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University

إحياء تراث الأجداد:إنعاش وترميم أحبار العفصوتانين الحديدية الباهتة والمكشوطة في المخطوطات والوثائق الأثرية والتاريخية

د. مدين حامد عبد الهادي محمود/جامعة الفيوم /كلية الآثار

الخلاصة:

في السني المنصرمة، أهمل البحث العلمي مسألة إحياء وإنعاش كتابات المخطوطات والوثائق التي بهتت أو كشطت ضمن طروسها Palimpsestes المعروفة ، ما أدي لفقد العديد من التراثيات المخطوطة النفيسة، وهنا حاول البحث تناول هذا المنحى بالتجربة والقياس لإعادة ما بهت من الكتابات وكشف ما كشط منها لأول مرة – بعيداً عن شبهة التزييف أو التزوير في أصولها المخطوطة– باستخدام

خلاصات المواد الطبيعية التي استخدمت سلفاً في تحضير أحبارها عند تدوينها أو نسخها من قبل ناسخيها أو مؤلفيها، وعليه المحافظة علي أصلها الكيميائي دون تغيير أو تعديل. وفي هذا الصدد اتبع البحث المنهج العلمي في صياغة وتمام التجربة الجديدة منذ البداية من تحضير العينات، مروراً بالتقييم والقياس باستخدام جهاز قياس طيف اللون Spectrophotometer، ودليل الصدأ Rust indicator للعينات المتأكسدة ، ثم التفاعلات المفسرة لفرضياتها، ونهايةً بمناقشة النتائج. وتمت التجربة بعلاج صنوف خمسة لأحبار العفصوتانين الحديدية كعينات متأكسدة باهتة بالتقادم الحراري الجاف أو مكشوطة يدوياً أو ممسوحة بحامض الكبريتيك المخفف، والتي تم علاجها كلها باستخدام عشرة محاليل مركزة لمواد العفصوتانين ، بعضها تقليدي والآخر مثار بالموجات فوق الصوتية ، ومن خلال القياس تبين أن أفضل النتائج كانت لمحاليل البيروجالول، حامض التانيك ، حامض العفصيك ، العفص، والإهليلج بالترتيب، ولم يكن للإثارة بالموجات فوق الصوتية فاعلية إلا علي صعيد قوة التغطية والتجانس.

مقدمة: Introduction

تفرز أكسدة أحبار العفصوتانين المعدنية مظهرًا جليًا في كتاباتها بالمخطوطات والوثائق الأثرية Archaeological documents يختص بالتغير اللوني لها، أو بالأحرى البهتان Fading الحادث لها جراء ذلك التفاعل المتلف الناتج عن هجرة أيونات الحديدوز Fe^{2+} ions خارج أطرها المحددة، وهي الشريك الفاعل في الحصول على اللون الأسود لهذه الأحبار من خلال تفاعلها والمركبات الفينولية Phenolic compounds كحامض التانيك Tannic acid، أو مركبات التانين القابل للتحلل مائيًا Hydrosable tannins والمعروفة بمركبات العفصوتانين Gallotannins والإلاجيتانين Ellagitannins كحامض العفصيك Gallic acid في الحالة الأولى وحامض الإلاجيك Ellagic acid في الثانية، ليس هذا فحسب، بل والناتج عن أكسدة مركب حامض العفصيك – بتحفيز من أيونات الأملاح المعدنية – أو ذاتيًا إلى أن يستهلك ويستنفذ كليةً في هذا التفاعل المتلف لتنتهي مجموعاته الهيدروكسيلية في هذه العملية، ما يؤدى إلى نهاية عمليات إنتاج اللون الأسود وتوقفها، فلا تجد أيونات المعادن الانتقالية Transition metals كأيونات الحديدوز شريكًا لها في التفاعل هذا، ما يجعلها تهاجر خارج مركباتها من الحبر، ما يؤدى في نهاية المطاف إلى بهتانه، وهو أساس لترميم وإنعاش الكتابات الباهتة المنفذة باستخدام تلك الأحبار، وإن قوبل ذلك بمعارضة من قبل اختصاصي الصيانة وحافظي المجاميع المخطوطة، ما حدا بالدراسة إلى مناقشته علاجًا جديدًا لإنقاذ العديد من التراثيات والوثائق العربية المخطوطة من الاندثار أو تركها رثًا باليًا ... هذا عن إنعاش الأحبار الباهتة.

وعن الكتابات المكشوطة في المخطوطات أو الرقوق المخطوطة، فهي ليست ناتجة عن تفاعلات ضمنية في بيئة مركبات الأحبار كما يحدث مع ظاهرة البهتان التي سلفت، وإنما تتمخض عن محاولات الأقدمين والمعاصرين لها طمس هوية بعض المخطوطات، وإخفاء بعض المعلومات التي تخدم فكرة أو توجه بعينه

لخدمة أغراض سياسية أو دينية كنوع من التزييف Counterfeiting أو التزوير Forgery عن قصد، أو أن ذلك يتم لأغراض – بدون قصد – اقتصادية فحسب توفيرًا لتجهيز حوامل جديدة، مادامت قد أدت غرضها من خلال ما تحمله من كتابات وعلوم ومعارف، وهي ظاهرة لم تقتصر على مادة حامل بعينها بل شملت مخطوطات البردي Papyrus، البارشمنت Parchment، الرق Vellum، والورق Paper، وتعد الرقوق المكشوطة الأشهر بينها جميعًا، والتي يتم كشطها أو إزالة كتاباتها وخطوط حبرها بوسائل كيميائية كالغسيل Washing بالماء، أو باستخدام الأحماض Acids أو القلويات Basics، أو بوسائل ميكانيكية كالكشط Scrapping أو المحو الميكانيكي Mechanical erasure ، وتدعى المخطوطات والوثائق من هذا النوع بالمكشوطات المعاد كتاباتها"الطروس" Palimpsests، وأمثلتها بعض نماذج البحر الميت Dead-sea scrolls، فضلاً عن بعض وثائق دير سانت كاترين بمصر التي كشف عنها مؤخرًا.

وفيما يتعلق بالحالة الأخيرة، فإنها من قسمين، يتعلق الأول بالنص السفلى Underlying text وهو المكشوط أو الذي أزيلت ملامحه، في حين يتعلق الثاني بالنص البديل أو العلوي Overwritings في مرحلة تالية – زمنيًا – للنص الأول السفلى (الأصل)، ويمكن ترميمه على أساس يشبه ما يتم حيال نظيره من الكتابات الباهتة التي سلفت، وهو ما يتأتى من معاملة الحاضر من مواد الحبر الأصلية بالغائب منها عند أكسدته أو هجرته أثناء تلك الأكسدة، وبشكل لا يغير من التركيب الأصلي الكيميائي، حتى لا يعد تزويرًا أو تزييفًا في أصل المستند المخطوط، وهو هدف الدراسة وغايتها، فضلاً عن هدف تنشده اعتمادًا على أساس علمي وقاعدة كيميائية. والبحث بقياساته وأدواته ومعاييره يمثل خطوة نحو انقاذ كتابات المخطوطات والوثائق الباهتة والمكشوطة وفق الاتجاهات الحديثة ، والتوجهات الحالية لحفظ تراث السلف من العرب والمسلمين.

أ– المواد والطرق : Materials and methods

1– العينات : Samples

1–1– تجهيز العينات المحبرة : Preparation of inked samples

تم تجهيز عينات الدراسة من خلال استخدام ورق الكانسون في شكل أشرطة بقياس 8 × 5 سم، ثم تغشيته لأحد وجهيه بأحبار العفصوتانين الحديدية الخمسة التالية والمجهزة على البارد (وفق التجارب التي تمت قبل التجربة لانتخاب أفضل الأحبار لغرض الدراسة) من المحتويات الوارد بالجدول المرفق رقم (1)

المـــادة	المقـــدار
مركب العفصوتانين	15 جم

وقد تم تجهيز محلول المركبات الثلاث الأولى الواردة بالجدول السابق لكل منها بشكل مستقل في جزء من الماء المقطر المستخدم كوسيط مذيب لها لتخلط بعدها جيدًا، ويتم الحصول على نصف لتر من الحبر في كل حالة ليستخدم في تغشية ورق الدراسة بواسطة إسفنجة دوّارة بالأحبار التالية :

كبريتات الحديدوز	12 جم
صمغ عربي	10 جم
ماء مقطر	500 ملل

جدول رقم (1) المكونات الرئيسة لأحبار العفصوتانين الحديدية المستخدمة بالدراسة

1. حبر العفص الحديدي (IGI).
2. حبر حامض العفصيك (جالات الحديدوز) (IG).
3. حبر حامض التانيك (تانات الحديدوز) (ITI).
4. حبربيروجالات الحديدوز) (IPI).
5. حبر حامض الإلاجيك (إلاجيتانات الحديدوز) (IEI).

هذا وقد قسمت العينات المغشاة بمحاليل الأحبار السابقة إلى قسمين : قسم لتجربة الإنعاش، والآخر لتجربة ترميم الطروس، حيث تم إجراء التقادم – كما سيلي – لعينات الإنعاش مباشرة بعد تغشيتها بالأحبار، وهو ما تم أيضًا بعد كشط عينات الطروس يدويًا بنصل سكين أو إزالة بعضها بقطن مبلل بحامض الكبريتيك المخفف (7٪) Diluted H_2SO_4.

1-2- التقادم الحراري المعجل : Accelerated thermal ageing

أجري التقادم الحراري الجاف Dry-thermal ageing عند درجة حرارة 103^{5}م لكافة عينات الدراسة (المكشوطات وعينات البهتان) لمدة 15 يومًا الكافية لإحداث البهتان لنوعي العينات بشكل مناسب لإجراء علاجات الإنعاش Revival treatments وترميم المكشوطات Restoration of scrapped-ink coatings، وبواقع عينتين من كل نوع من الحبر (خمسة أنواع لكل عينة) لحالتي العلاج باستخدام محاليل العلاج التقليدية – سيرد ذكرها لاحقًا – ومقارنتها بحالة أخرى لتلك المحاليل في الخطوة التالية.

2- محاليل العلاج : Treatment solutions

2-1- محاليل الإنعاش : Revival solutions

حضرت محاليل الإنعاش من مركبات التانين (المركبات الڤينولية) من إذابة مقدار 15 جرامًا من مسحوق مادة العفصوتانين، ما يطابق مقاديرها عند تجهيز الأحبار الأصلية قبل بهتانها، ومذابة في نصف لتر من الماء أيضًا، وبالتالي اعتماد الدراسة على استخدام تركيزات المحاليل بتطابق مع تركيزاتها عند تجهيز محاليل حبر التغشية لحوامل ورق الدراسة، وشملت المحاليل العشرة المعدة بهذه الطريقة وبترتيب خطوطها في العينات المعالجة ما يلي :

1- محلول البيروجالول (محلول ملح حامض البيروجاليك) (PG).
2- خليط حجمين متساويين من حامضي التانيك والعفصيك (TGA).
3- خليط حجمين متساويين من العفص وحامض العفصيك (G-GA).

4- خليط حجمين متساويين من العفص وحامض التانيك (G-TA).

5- خليط حجمين متساويين من الإهليلج وحامض العفصيك (M-GA).

6- خليط حجمين متساويين من الإهليلج وحامض التانيك (M-TA).

7- محلول حامض العفصيك (GA). 8- محلول حامض التانيك (TA).

9- محلول العفص (G). 10- محلول الإهليلج (M).

وقد تم تطبيق المحاليل العشرة هذه في هيئة خطوط عرضية على أرضية الأحبار الخمسة الباهتة بترتيبها السابق باستخدام فرشاة Brush، هذا عنها في حالتها التقليدية.

وعن الحالة الثانية، وعلى خلفية حبر بيروجالات الحديدوز وتانات الحديدوز المشار إليهما أيضًا تم تطبيق محاليل حامض العفصيك (NGA)، حامض التانيك (NTA) والبيروجالول (NPG) بعد إثارة محاليلها باستخدام الموجات فوق الصوتية Ultra sound، والتي يطلق عليها الإثارة فوق الصوتية المائية Aqueous sonication كأحد الأساليب المستخدمة لتحويل جزيئات المذاب إلى جزيئات ميكرونية أو نانوية دون تحديد قطرها Diameter للحصول على تجانس أفضل للمحاليل، وذلك بطاقة ترددية مقدارها 5 ميجاهيرتز.

2- محاليل ترميم الأحبار المكشوطة : Restoration solutions of scrapped inks

ولها ما تم حيال محاليل الإنعاش من قبيل المقادير والتطبيق، سواء أكان ذلك للتقليدية أو تلك المثارة بالموجات فوق الصوتية، بيد أنها اقتصرت على استخدام خمسة محاليل تقليدية للعينات المكشوطة ، وهي :

1- محلول العفص (G). 2- محلول الإهليلج (M). 3- محلول حامض التانيك (TA).

4- محلول حامض العفصيك (GA). 5- محلول البيروجالول (PG).

وقد طبقت المحاليل المرممة للأحبار المكشوطة أو تلك التي أزيلت بالمعاملة الحامضية على عينة مغشاة بكل حبر من الأحبار الخمسة السابقة لحالتي الكشط (فيزيائي) والإزالة (كيميائي)، وحسب ترتيبها هذا. وفيما يتعلق بالمحاليل المثارة فلم تختلف عن نظيرتها للإنعاش التي تقدمت.

ب- القياسات : Measurements

1- قياس محتوى الحبر من أيون الحديدوز :: Measurement of Fe^{2+} ion content in inks

1-1- قبل العلاج : Before treatment

من خلال قياس محتوى الحبر الباهت في عينات الورق المحبر الخمسة من أيون الحديدوز Fe (II) ion قبل علاجها **بطريقة دليل الصدأ Rust indicator (حديدوسيانيد البوتاسيوم والآجار)** شوهد اللون الأزرق بدرجة متوسطة مع العينات كلها، ما يؤكد توفر أيون الحديد النشط أو أيون الحديدوز بعينات الحبر الخمسة الباهتة والمكشوطة، في حين قلت نسبته بعينات الحبر التي أزيل حبرها باستخدام حامض الكبريتيك المخفف.

2-1- بعد العلاج : After treatment

وباستخدام دليل الصدأ كذلك للكشف عن أيون الحديدوز للعينات المعالجة بحالتيها الباهتة والمكشوطة أو التي أزيل حبرها لم يتم الحصول على مشاهدة للون الأزرق تمامًا لكل العينات، وفي حالات العلاج جميعها باستخدام محاليل العلاج، ما يؤكد غيابه بعد إجراء العلاجات المختلفة لعلةِ تفاعليه يفصح عنها لاحقًا.

2- قياسات اللون : Colour measurements

قيست القيم اللونية طبقًا لنظام CIE lab sys باستخدام جهاز قياس طيف اللون "الاسبكتروفوتومتر" Spectrophotometer للحصول على دلالة التغير اللوني الكلي ΔE سلبًا (بهتان) أو إيجابًا (عمق في اللون) ، أو باستخدام أحد تطبيقات قياس اللون للحصول على حسابات دقيقة لقيم ΔE، والتي ترتبط بزيادة عمق اللون (سواده) بعلاقة عكسية، فكلما زادت قيمتها قل عمق اللون (زاد البهتان)، حيث (ΔE = 0.00)، ما يدل على أن البعد عن تلك القيم ارتفاعًا في الأرقام يمثل انخفاضًا في درجة السواد الناتجة = زيادةً في البهتان Fading ..... والعكس كذلك *Vice versa*. ويمكن تسجيل الملاحظات والبيانات المعطاة والمحسوبة رياضيًا جنبًا إلى جنب مع الوصف البصري بالعين المجردة لعينات الحبر قبل وبعد العلاج على النحو التالي :

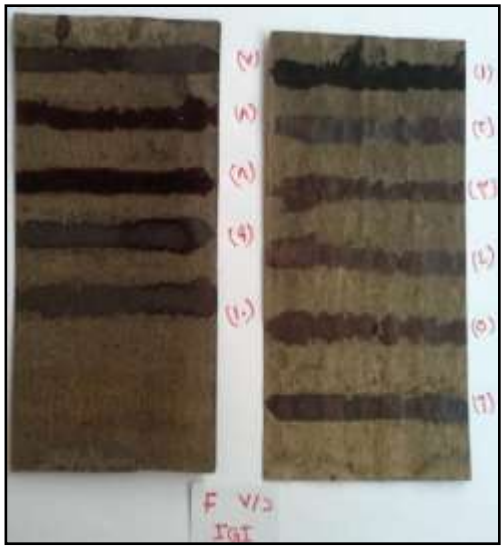
2-1- الأحبار الباهتة : Faded inks

عند النظر بالعين المجردة للأحبار الباهتة (عددها = 5) بالدراسة قبل علاجها بالمحاليل العشرة المظهرة والمنعشة لها وبعده في صورتها التقليدية يمكن رصد الملاحظات والمشاهدات التالية :

***حبر العفص الحديدي قبل وبعد العلاج :** عندما خضعت عينات حبر العفص الحديدي (IGI) للتقادم بالطريقة الواردة لمدة 15 يومًا فقد بهتت إلى اللون الرمادي الفاتح المائل للصفرة Yellowish grey، وعند إنعاشه بواسطة محاليل الإنعاش

محلول العلاج	اللون الناتج	محلول العلاج	اللون الناتج
قبل العلاج	رمادي مائل للصفرة		
البيروجالول	أسود	خليط الإهليلج وحامض التانيك	بني غامق
خليط حامض التانيك وحامض العفصيك	بني غامق لامع	حامض العفصيك	بني غامق
خليط العفص وحامض العفصيك	بني لامع	حامض التانيك	بني غامق لامع
خليط العفص وحامض التانيك	بني	محلول العفص	بني
خليط الإهليلج وحامض العفصيك	بني	محلول الإهليلج	بني

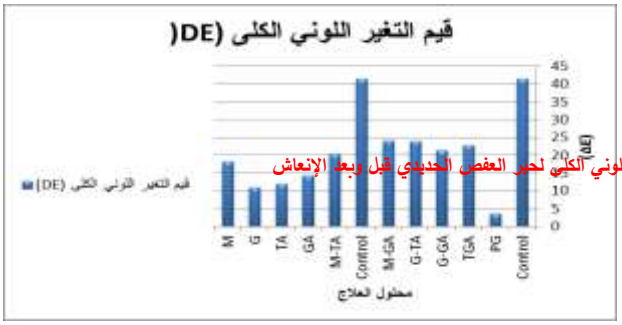
جدول رقم (2) حبر العفص الحديدي الباهت قبل وبعد الإنعاش



صورة رقم (1) حبر العفص الحديدي الباهت قبل وبعد انعاشه بمحاليل الدراسة العشرة في شكل خطوط

العشرة السابقة بترتيبها أعطى درجات لونية متباينة صورة رقم (1) قرين كل محلول على النحو المبين بالجدول السابق رقم (2).

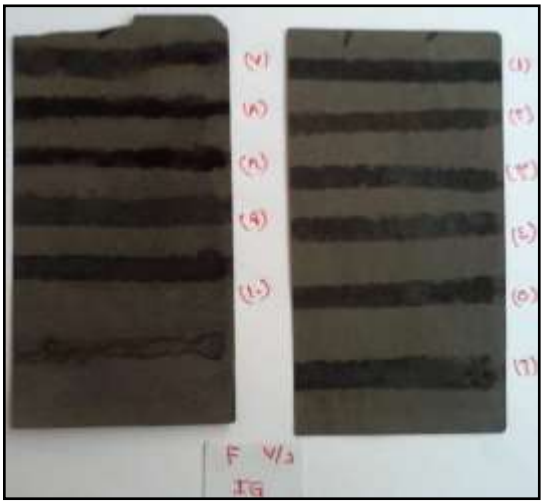
وللتعبير عن النتائج السابقة رياضيًا وإحصائيًا، فإن قيم التغير اللوني الكلى (ΔE) للعينات كلها قبل وبعد العلاج منسوبة إلى اللون الأسود القياسي يمكن المقارنة بينها من الجدول المرفق ونمطه رقم (3) والتي تم حسابها باستخدام قيم *L، *a و *b التي تم الحصول عليها بواسطة جهاز قياس طيف اللون السابق لاستخدامها في حساب ΔE باستخدام تطبيق Color calculator demo من خلال وحدة حاسبة للتغير اللوني الكلى Delta-E calculator التي تعطى قيم ΔE بالإضافة إلى اللون القياسي المرجعي Reference color الأسود ولون العينة Sample color.



جدول رقم (3) ونمطه الإحصائي لقيم التغير اللوني الكلى لحبر العفص الحديدي قبل وبعد الإنعاش

محلول العلاج	(ΔE)	محلول العلاج	(ΔE)
Control	41.44	Control	41.44
M-TA	20.30	PG	3.6
GA	14.34	TGA	22.84
TA	12.00	G-GA	21.46
G	10.96	G-TA	23.98
M	18.20	M-GA	24.08

***حبر جالات الحديديك قبل وبعد العلاج :** وعلى نفس الدرب فقد بهتت أحبار جالات الحديدوز Fe^{2+} gallate بعد تقادمها حراريًا لمدة 15 يومًا من اللون الأسود المائل للزرقة Bluish black إلى اللون الرمادي، وعند إنعاشها بمحاليل العلاج بترتيبها طبقًا



صورة رقم (2) حبر جالات الحديد الباهت قبل وبعد الإنعاش بمحاليل الدراسة العشرة فى شكل خطوط

محاليل الإنعاش	اللون الناتج	محاليل الإنعاش	اللون الناتج
Control	رمادي	Control	رمادي
PG	بني – أسود	M-TA	بني غامق قليلاً – لامع
TGA	بني	GA	بني غامق قليلاً
G-GA	بني غامق قليلاً	TA	بني غامق لامع
G-TA	بني غامق قليلاً	G	رمادي مائل للبني
M-GA	بني غامق قليلاً	M	بني غامق جدًا

جدول رقم (4) حبر جالات الحديدوز قبل وبعد الإنعاش بمحاليل العلاج

للنسق المقدم أعطت الألوان التي توضحها الصورة المرفقة رقم (2) والواردة كذلك بالجدول المرفق كذلك رقم (4) ، وعند التعبير عن النتائج رياضيًا أو رقميًا بقيم ΔE – كما تقدم – أعطت النتائج التالية بالجدول المرفق رقم (5) ونمطه الإحصائي المرفق.

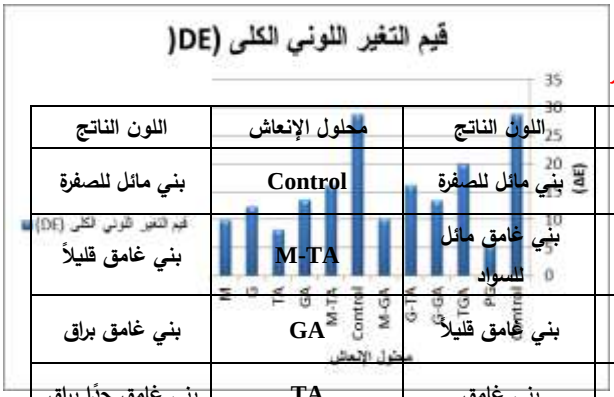
محلول الإنعاش	(ΔE)	محلول الإنعاش	(ΔE)
Control	31.92	Control	31.92
PG	4.42	M-TA	12.55
TGA	18.73	GA	10.04
G-GA	15.29	TA	13.92
G-TA	14.08	G	9.83
M-GA	13.01	M	8.69

جدول رقم (5) ونمطه الإحصائي لقيم التغير اللوني لحبر جالات الحديدوز قبل وبعد الإنعاش

*__حبر تانات الحديديك قبل وبعد العلاج بالإنعاش__ : ونهجًا لما سبق بهتت أحبار تانات الحديدوز إلى نظيرتها ذات اللون البني المائل للصفرة Yellowish brown بعد أن كانت سوداء مائلة للون البني Brownish black، وعند إنعاشها – كما تقدم – أعطت الألوان الواردة في الجدول رقم (6)، وتوضحها صورة (3): ورقميًا بالجدول المرفق رقم (7) ونمطه الإحصائي:

صورة رقم (3) حبر تانات الحديد الباهت قبل وبعد الإنعاش بمحاليل الدراسة العشرة في شكل خطوط

جدول رقم (7) ونمطه الإحصائي لقيم التغير اللوني الكلى لحبر تانات الحديدوز قبل وبعد الإنعاش

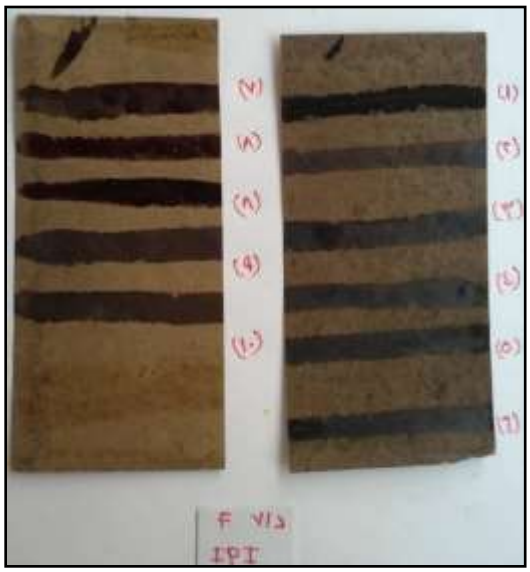


محلول الإنعاش	اللون الناتج	محلول الإنعاش	اللون الناتج
Control	بني مائل للصفرة	Control	بني مائل للصفرة
PG	بني غامق مائل للسواد	M-TA	بني غامق قليلاً
TGA	بني غامق قليلاً	GA	بني غامق براق
G-GA	بني غامق	TA	بني غامق جدًا براق
G-TA	بني غامق قليلاً	G	بني غامق
M-GA	بني غامق قليلاً	M	بني غامق

محلول الإنعاش	(ΔE)	محلول الإنعاش	(ΔE)
Control	28.92	Control	28.92
PG	5.37	M-TA	16.21
TGA	19.96	GA	13.52
G-GA	13.47	TA	8.19
G-TA	16.16	G	12.35
M-GA	10.17	M	9.88

*__حبر بيروجالات الحديديك قبل وبعد العلاج بالإنعاش__ : فبأكسدة حبر بيروعفصات الحديدوز عند تقادمه

حراريًا كما تقدم فقد بهت إلى البني الباهت Pale brown بعد أن كان بنيًا غامقًا Dark brown، وعند علاجها بالكيفية المقدمة أعطت الألوان بالصورة المرفقة رقم (4)، والواردة بالجدول المرفق رقم (8).

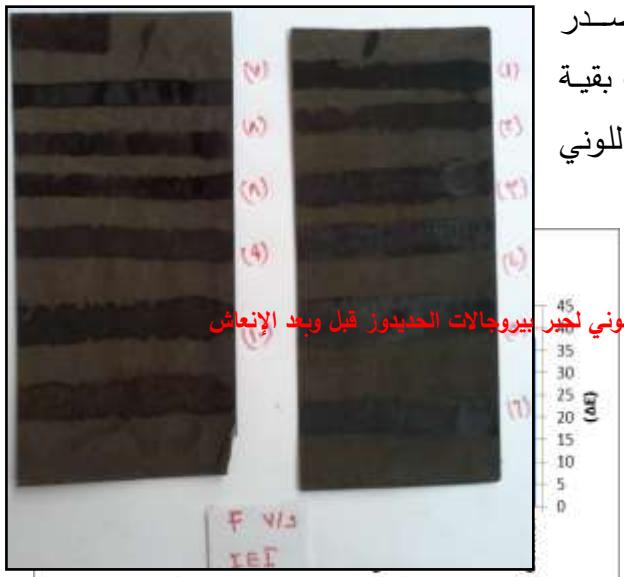


صورة رقم (4) حبر بيروجالات الحديد الباهت قبل وبعد الانعاش بمحاليل الدراسة العشرة في شكل خطوط

جدول رقم (8) حبر بيروجالات الحديد الباهت قبل وبعد الإنعاش والعلاج

محلول الإنعاش	اللون الناتج	محلول الإنعاش	اللون اناتج
Control	بني باهت	Control	بني باهت
PG	أسود	M-TA	بني غامق براق
TGA	بني	GA	بني
G-GA	بني غامق براق	TA	بني غامق جدًا وبراق
G-TA	بني غامق	G	بني
M-GA	بني غامق	M	بني

ومن خلال الصورة والجدول المرفقين يلاحظ أن حبر بيروجالات الحديدوز من أكثر الأحبار الباهتة تقبلاً للإنعاش والعلاج، ونتائجه حيال ذلك جيدة، وكالعادة تصدر البيروجالول وحامض التانيك جودة العلاج، وأعطت بقية المحاليل نتائج متوسطة في هذا، غير أن قيم التغير اللوني



صورة رقم (5) حبر الإچيتانات الحديد قبل وبعد الإنعاش بمحاليل الدراسة العشرة في شكل خطوط

جدول رقم (9) ونمطه الإحصائي لقيم التغير اللوني لحبر بيروجالات الحديدوز قبل وبعد الإنعاش

محلول العلاج	(ΔE)	محلول العلاج	(ΔE)
Control	38.03	Control	38.59
PG	8.80	M-TA	14.02
TGA	19.34	GA	9.34
G-GA	18.85	TA	5.37
G-TA	17.74	G	15.44
M-GA	14.82	M	15.30

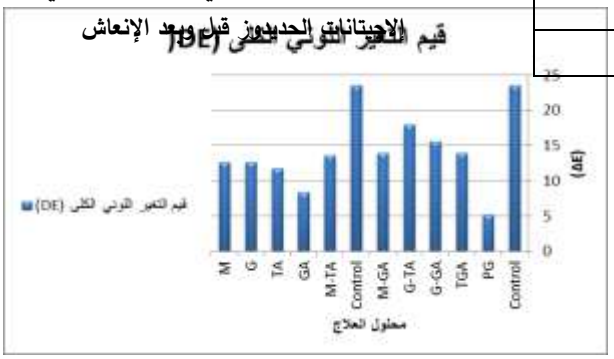
الكلى (ΔE) جدول رقم (9) ونمطه الإحصائي، قد خالفت هذا نسبيًا، فهي تتعامل في تقديراتها مع محتوى اللون الناتج من الألوان الأساسية بغض النظر عن اللون الناتج الماثل للعين المجردة. ***حبر الإچيتانات الحديديك قبل وبعد العلاج بالإنعاش***، عند تقادم حبر إلاچيتانات الحديدوز فقد بهت إلى اللون البني المائل للون الزيتي Olive-brown، غير أنه وعند إنعاش تغشيته أعطى الألوان الواردة بالصورة رقم (5) وبالجدول المرفق رقم (10) أيضًا

وعن قياس معدل التغير اللوني الكلى (ΔE) وهو إيجابي Positive، فإن قيمه هي الواردة بالجدول التالي رقم (11) ونمطه.

محلول الإنعاش	اللون الناتج	محلول الإنعاش	اللون الناتج
Control	بني – زيتي	Control	بني – زيتي
PG	بني – أسود	M-TA	بني غير نقي
TGA	بني غامق	GA	بني غامق جدًا – براق
G-GA	بني غامق	TA	بني غامق جدًا – براق
G-TA	بني غير نقي	G	بني
M-GA	بني غير نقي	M	بني

جدول رقم (11) ونمطه الإحصائي لقيم التغير اللوني لحبر الاحيتانات الحديدوز قبل وبعد الإنعاش

محلول العلاج	(ΔE)	محلول العلاج	(ΔE)
Control	23.61	Control	23.61
PG	5.20	M-TA	13.61
TGA	13.94	GA	8.34
G-GA	15.63	TA	11.81
G-TA	17.99	G	12.69
M-GA	14.01	M	12.67



وللمقارنة – الحالة الثانية – استخدمت بعض محاليل الإنعاش المثارة بواسطة الموجات فوق الصوتية لزيادة إذابة جزيئاتها باختزال حجومها كما تقدم، وكوسيلة من وسائل تحويل جزيئات بعض المواد إلى جسيمات ميكرونية أو نانوية، وفي ذلك استخدمت ثلاثة محاليل مثارة تركيزها هو نفس تركيز المحاليل العشرة السابقة، والمحاليل هي محلول حامض العفصيك (NGA)، محلول حامض التانيك (NTA)، ومحلول البيروجالول (NPG)، وذلك على حبرين باهتين هما حبر تانات الحديدوز وبيروجالات الحديدوز الباهتين.

وباستخدام المحاليل الثلاثة المذكورة على أرضية **حبر تانات الحديديك** بترتيبها أعطى محلول البيروجالول أفضل النتائج من حيث اللون، التغطية، وتجانس اللون تلاه محلول حامض العفصيك كما في

صورة رقم (6) حبر تانات الحديد الباهت بعد الإنعاش بمحاليل حامض العفصيك، التانيك والبيروجالول المثارة بالموجات فوق الصوتية

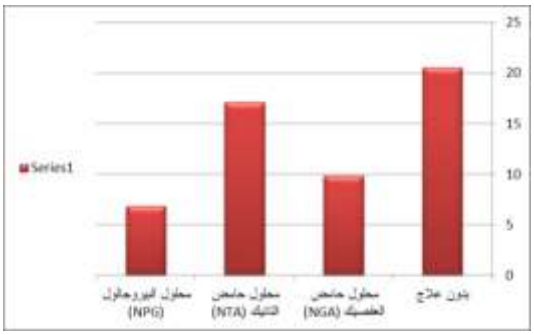
جدول رقم (12) حبر تانات الحديدوز بعد إنعاشه بمحاليل الإنعاش المثارة

بدون علاج	محلول حامض العفصيك	محلول حامض التانيك (NTA)	محلول البيروجالول
بدون علاج	محلول حامض العفصيك (NGA)	محلول حامض التانيك (NTA)	محلول البيروجالول (NPG)
بني باهت مائل للصفرة	بني غامق جدًا متجانس	بني غامق غير متجانس	أسود مائل للون البني متجانس

صورة رقم (6) والجدول رقم (12) المرفقين.

ولتأكيد النتائج، فإنه عند قياس قيم التغير اللوني الكلى ΔE للألوان الناتجة عن استخدام المحاليل الثلاثة المثارة لإنعاش حبر تانات الحديديك أعطت القيم الواردة بالجدول التالي رقم (13).

جدول رقم (13) ونمطه الإحصائي لقيم التغير اللوني الكلى لحبر تانات الحديدوز بعد الإنعاش بالأحبار المثارة



بدون علاج	محلول حامض العفصيك (NGA)	محلول حامض التانيك (NTA)	محلول البيروجالول (NPG)
20.54	9.83	17.15	6.84

وعند استخدام المحاليل الثلاثة لإنعاش **حبر بيروجالات الحديديك الباهت** لم تعط النتائج الواردة حيالها عند إنعاشها لحبر تانات الحديدوز، لاسيما مع محلول حامض التانيك الذي أعطى نتيجة سيئة على كل الأصعدة، وتوسطت النتائج مع محلول حامض العفصيك، في حين كانت النتائج الواردة باستخدام محلول البيروجالول – كعادته – ممتازة، وهو ما تؤيده الصورة المرفقة رقم (7) والجدول المرفق رقم (14).

	(NGA)		(NPG)
بني باهت جدًا	بني	رمادي مبيض	بني مائل للسواد

جدول رقم (14) حبر بيروجالات الحديدوز الباهت قبل وبعد الإنعاش بالمحاليل المثارة

صورة رقم (7) حبر بيروجالات الحديد الباهت بعد الإنعاش بمحاليل حامض العفصيك، التانيك والبيروجالول المثارة بالموجات فوق

وللتعبير رياضيًا عن نتائج إنعاش حبر بيروجالات الحديدوز الباهت بالمحاليل الثلاثة المثارة، فقد تم الحصول على قيم (ΔE) كما تقدم من خلال الجدول المرفق رقم (15) ونمطه الإحصائي، كالتالي :

بدون علاج	محلول حامض العفصيك (NGA)	محلول حامض التانيك (NTA)	محلول البيروجالول (NPG)
28.29	13.63	19.28	6.77

جدول رقم (15) ونمطه الإحصائي لقيم ΔE لحبر بيروجالات الحديدوز الباهت بعد الإنعاش بالمحاليل المثارة

2-2- الأحبار المكشوطة والممسوحة (الطروس) : Scrapped and erased inks

استخدمت المحاليل الخمسة المشار لها سلفًا لترميم الأحبار المكشوطة والمغسولة بحامض الكبريتيك سويًا لتقدير استجابتها للعلاج، والمحضرة بنفس الطرق السابقة ومقادير موادها ، وشملت المحاليل التالية :

1.محلول العِفصْ (G) 2.محلول الإهليلج (M) 3.محلول حامض التانيك (TA)
4.محلول حامض العفصيك (GA) 5.محلول البيروجالول (PG)

• **ترميم حبر العفص الحديدي المكشوط والممسوح :** يمكن القول أنه عند ترميم حبر العفص الحديدي المكشوط (1) بالمقارنة مع الشريط المتعامد على ألوان المحاليل الخمسة المستخدمة بترتيبها قد أعطت محاليل العفص، الإهليلج وحامض التانيك نتائج مرضية لترميم الحبر المكشوط هذا، في حين لم يعط محلول حامض العفصيك – على غير المتوقع – نتيجة تستحق الذكر، كما أن النتائج الخاصة بترميم حبر العفص الحديدي الممسوح (1//) تأتي في صالح المحاليل الثلاثة الأولى أيضًا مع تحسن قليل في نتيجة استخدام محلول البيروجالول، مع العلم أن أفضل المحاليل في الحالة الأولى هو محلول البيروجالول وحامض التانيك، وهو ما تؤيده نتائج القياس اللوني لقيم ΔE، وهو الحال في الحالة الثانية أيضًا، بيد أن قيمة ومقدار التغير

هذا هو الأفضل في الحالة الثانية (1//) التي تخص حبر العفص الحديدي الممسوح لاتساع الفارق بين قيمة ΔE له قبل العلاج ونظيراتها بعد العلاج إذا ما قورن بالحالة الأولى، ويمكن ملاحظة ذلك من صورة الإنعاش رقم (8)، وجدول قيم ΔE رقم (16) ونمطه الإحصائي، فضلاً عن الصور المسجلة لقيم ΔE ونسبتها إلى اللون الأسود الدليل أو القياسي Reference color :

صورة رقم (8) حبر العفص الحديدي المكشوط والممسوح بعد الترميم والإنعاش بمحاليل العفص، الإهليلج، حامض التانيك، حامض العفصيك والإهليلج مقارنة بأشرطته غير

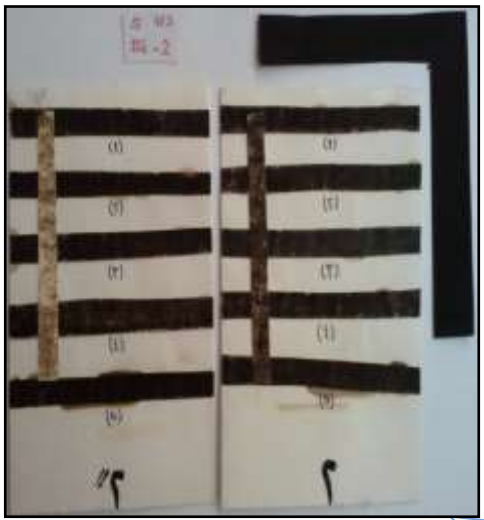
- **ترميم حبر جالات الحديديك المكشوط والممسوح:**

جدول رقم (16) ونمطه الإحصائي لقيم ΔE لألوان ترميم أحبار العفص الحديدية المكشوطة والممسوحة

محلول الترميم / Δ E	الأحبار المكشوطة (ΔE)	الأحبار الممسوحة (ΔE)
بدون علاج	46.70	52.11
محلول العفص	21.25	11.31
محلول الإهليلج	20.65	17.10
حامض التانيك	17.34	14.33
حامض العفصيك	35.38	19.56
البيروجالول	11.18	9.12

عند ترميم وعلاج حبر جالات الحديدوز المكشوط (2) أعطت محاليل العلاج الخمسة جميعها نتائج طيبة عند مقارنتها باستخدامها لترميم وعلاج حبر العفص الحديدي المكشوط، وأفضلها باستخدام محلول البيروجالول على صعيد التغطية، اللون والتجانس، بيد أن نتيجتها الفضلى – بالمقارنة – عند استخدامها في ترميم حبر جالات الحديدوز الممسوح باستخدام الحامض (2//)، وأن أفضلها في هذه الحالة مع استخدام محلول البيروجالول أولاً، ثم محلول الإهليلج، وأقلها مع استخدام محلول حامض العفصيك رغم صلته الكيميائية بالحبر المعالج، وباقي النتائج جيدة ، صورة رقم (9).

وعند قياس الألوان الناتجة بالتقنية المستخدمة بالدراسة في تجارب الإنعاش السابقة تأكدت النتائج السابقة، ففي الحالة الأولى (الحبر المكشوط) تدنت قيمة ΔE لدرجة كبيرة، أي اقتربت نسبيًا من قيمتها مع اللون الأسود القياسي عند استخدام محلول البيروجالول، وفي الحالة الثانية (الحبر الممسوح) تفوقت المحاليل كلها في علاجها على الناتج للحالة الأولى، وأن محلول البيروجالول يليه محلول الإهليلج هما

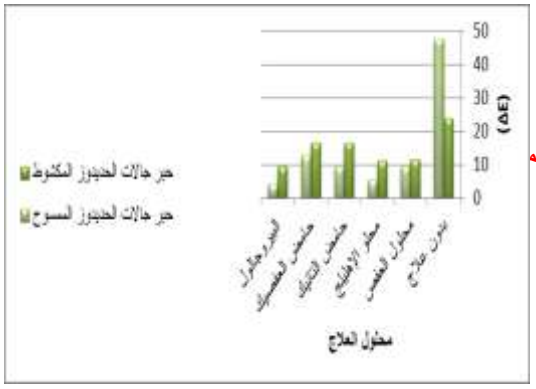


صورة رقم (9) حبر جالات الحديد المكشوط والممسوح بعد الترميم والإنعاش بمحاليل العفص، الإهليلج، حامض التانيك، حامض العفصيك والبيروجالول مقارنة بأشرطته غير المعالجة

الأفضل في هذا الصدد، وأقلها مرتبة محلول حامض العفصيك، وكل ذلك جلى عند مطالعة قيم التغير اللوني بالجدول رقم (17) ونمطه الإحصائي.

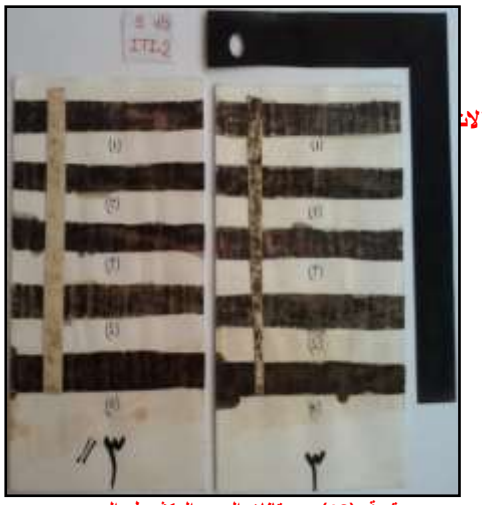
ΔE / محلول العلاج	حبر جالات الحديديك المكشوط (ΔE)	حبر جالات الحديديك الممسوح(ΔE)
بدون علاج	23.98	47.58
محلول العفص	11.56	9.64
محلول الإهليلج	11.12	5.43
حامض التانيك	16.53	9.41
حامض العفصيك	16.73	13.00
البيروجالول	9.53	4.34

جدول رقم (18) ونمطه الإحصائي لقيم ΔE لحبر تانات الحديديك له



• تـرميم حبـر تانات الحديديك

جدول رقم (17) ونمطه الإحصائي لقيم ΔE لألوان ترميم جالات



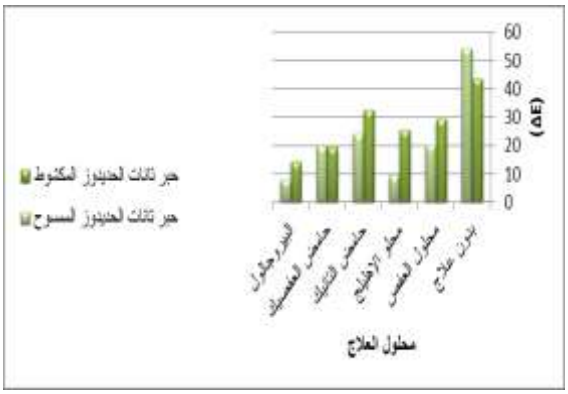
صورة رقم (10) حبر تانات الحديد المكشوط والممسوح بعد الترميم والإنعاش بمحاليل العفص، الإهليلج، حامض التانيك، حامض العفصيك والبيروجالول مقارنة بغير المعالجة

المكشوط والممسوح:

باستخدام المحاليل الخمسة للعلاج ولترميم حبر تانات الحديديك المكشوط (3) لم يتم الحصول على نتائج جيدة اللهم إلا باستخدام محلول البيروجالول كعادته دائمًا، في حين تحسنت تلك النتائج جيدًا، وبشكل ملحوظ عند علاج وترميم حبر تانات الحديدوز الممسوح (3//)، مع تفوق ملحوظ أيضًا من جانب محلول البيروجالول يليه محلول حامض التانيك صورة رقم (10)، وعند التعبير عن ذلك من خلال قيم التغير اللوني الكلى (ΔE)، أعطت المحاليل الخمسة ألوانًا قريبة من بعضها نسبيًا مع تفوق واضحٍ من جانب محلول البيروجالول على بقية المحاليل في هذا الصدد، وتفوق آخر ملحوظ في مجمله لنتائج العلاج لحبر تانات الحديدوز الممسوح Erased-iron tannate ink عند مقارنتها بنظيرتها للحبر ذاته مكشوطًا، ما يمكن ملاحظته من الجدول المرفق رقم (18) ونمطه الإحصائي، ولكنها أقل من نتائج علاج حبر جالات الحديدوز في الحالتين.

ΔE / محلول العلاج	حبر تانات الحديديك المكشوط (ΔE)	حبر تانات الحديديك الممسوح (ΔE)
بدون علاج	**43.50**	**54.22**
محلول العفص	**29.33**	**20.40**
محلو الإهليلج	**25.56**	**9.81**

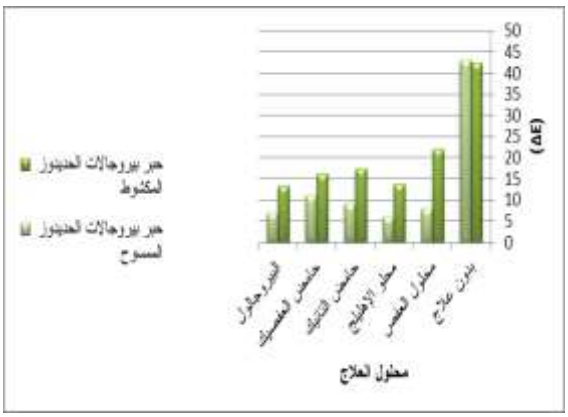
حامض التانيك	32.58	24.20
حامض العفصيك	19.33	19.91
البيروجالول	14.36	8.08



- **ترميم حبر بيروجالات الحديديك المكشوط والممسوح:**

لم تكن نتائج العلاج لحبر بيروجالات الحديديك في حالتيها (4 ، 4/) المكشوط والممسوح بالسوء الظاهر مع حبر العفص الحديدي، وحبر تانات الحديدوز، أو بالجودة الناتجة عند علاج حبر جالات الحديدوز، لكنها عوانٌ بين ذلك، فقد أعطت مستويات أعلى من المتوسط، وفي الحالتين، فإن نتائج العلاج والترميم لحبر بيروجالات الحديدوز المكشوط أقل من نظيرتها لحبر بيروجالات الحديدوز الممسوح (4/)، فضلاً عن تقارب شديد بين النتائج كلها للمحاليل الخمسة لكل حالة وحدها، وتقارب أشد في الحالتين بين نتائج العلاج باستخدام محلولي حامض التانيك وحامض البيروجاليك Pyrogallic acid (البيروجالول) على كل الأصعدة صورة رقم (11)، وهو ما لوحظ عند قياس معدل التغير اللوني الكلي (ΔE) ذى العلاقة العكسية مع الأسود القياسي، وهو ما يوضحه الجدول التالي رقم (19) ونمطه الإحصائي.

جدول رقم (19) ونمطه الإحصائي لقيم ΔE لألوان ترميم بيروجالات الحديديك المكشوطة

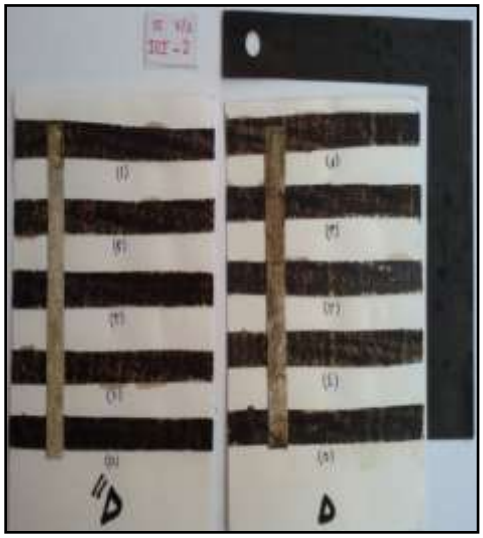


ΔE / محلول العلاج	حبر بيروجالات الحديديك المكشوط (ΔE)	حبر بيروجالات الحديديك الممسوح (ΔE)
بدون علاج	42.52	43.02
محلول العفص	22.05	8.06
محلول الإهليلج	13.71	6.15
حامض التانيك	17.34	9.21
حامض العفصيك	16.32	11.26
البيروجالول	13.41	6.91

ΔE / محلول العلاج	حبر بيروجالات الحديديك المكشوط (ΔE)	حبر بيروجالات الحديديك الممسوح (ΔE)
بدون علاج	42.52	43.02
محلول العفص	22.05	8.06
محلول الإهليلج	13.71	6.15
حامض التانيك	17.34	9.21
حامض العفصيك	16.32	11.26
البيروجالول	13.41	6.91

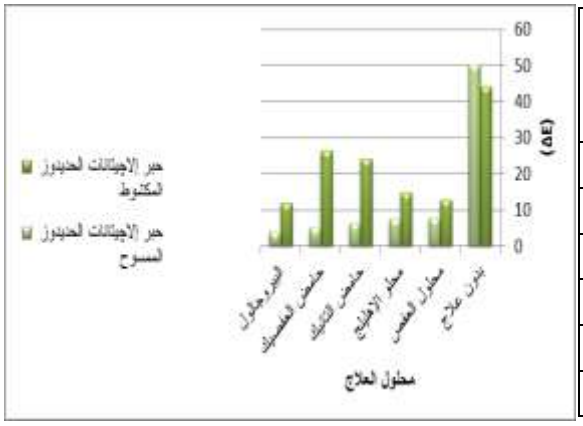
• **ترميم حبر إلاچيتانات الحديديك المكشوط والممسوح :** من بين أفضل النتائج التي تم الحصول عليها تلك التي نتجت عن استخدام محاليل العلاج الخمسة لترميم الحبر الممسوح من إلاچيتانات الحديديك (5/) إذا ما قورنت بمثيلاتها في الأحبار السابقة، حيث تشبه النتائج التي تم الحصول عليها من علاج حبر جالات الحديدوز الممسوحة أيضًا (2/) إلى حد كبير، غير أنها أعطت نتائج متوسطة عند استخدامها لعلاج وترميم حبر إلاچيتانات الحديدوز المكشوطة ميكانيكيًا (فعل فيزيائي Physical action)، فلم يختلف كثيرًا عن النتائج غير الجيدة السابقة، ولكن أهم ما يعيب تلك النتائج في الحالتين سوء التغطية Coating والتجانس الحادثين عند علاج وترميم ذلك النوع من الحبر المكشوط والممسوح، غير أنهما غير واضحين جيدًا بنتائج العلاج باستخدام محلول البيروجالول، وفي الحالتين في حالة تشابه مع تلك النتائج التي تم الحصول عليها مع علاج حبر العفص الحديدي المكشوط والممسوح، والنتائج في حالتنا الماثلة من الصورة المرفقة (رقم 12)، ومن قيم ΔE التي تؤكد نتيجةً مفاجئةً ممتازة لمحلول حامض العفصيك عند استخدامه لعلاج حبر إلاچيتانات الحديدوز الممسوح، وأخرى سيئة في علاج ذلك الحبر مكشوطًا، وهي في الجدول (20) ونمطه الإحصائي.

صورة رقم (11) حبر بيروجالات الحديد المكشوط والممسوح بعد الترميم والإنعاش بمحاليل العلاج الخمسة مقارنة بأشرطته غير المعالجة



صورة رقم (12) حبر إلاچيتانات الحديد المكشوط والممسوح بعد الترميم والإنعاش بمحاليل العلاج الخمسة مقارنة بغير المعالجة

جدول رقم (20) ونمطه الإحصائي لقيم ΔE لحبر إلاچيتانات الحديديك المكشوط والممسوح قبل وبعد الترميم



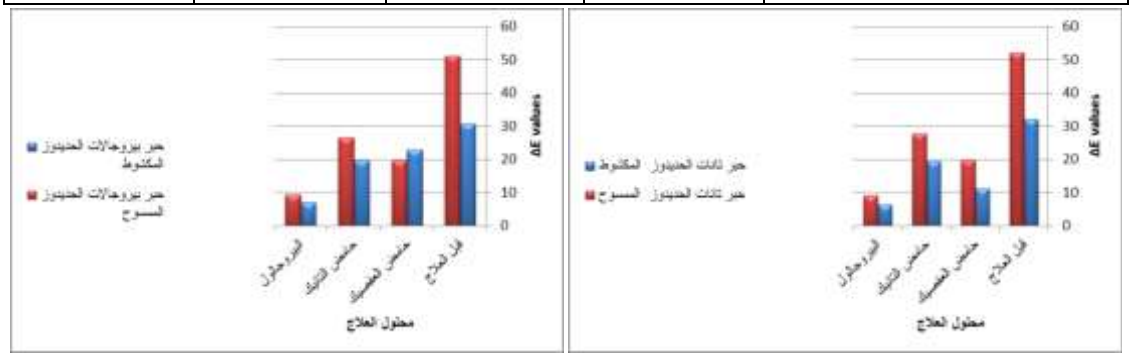
محلول العلاج / ΔE	حبر إلاچيتانات الحديديك المكشوط (ΔE)	حبر إلاچيتانات الحديديك الممسوح (ΔE)
بدون علاج	44.32	50.16
محلول العفص	12.85	7.94
محلو الإهليلج	14.70	7.46
حامض التانيك	24.25	6.41
حامض العفصيك	26.43	5.17
البيروجالول	11.78	4.01

وللمقارنة: استخدمت محاليل العلاج الثلاثة السابقة المثارة بالموجات فوق الصوتية لترميم وعلاج حبر تانات الحديديك المكشوط والممسوح بالإضافة إلى حبر بيروجالات الحديديك المكشوط والممسوح أيضًا، ودلت نتائج التجربة على أن جودة العلاج الناتج هو الأفضل عند استخدام محلول البيروجالول يليه محلول حامض العفصيك، ولا مخالفة في ذلك للنتائج التي تم الحصول عليها عند قياس قيم التغير اللوني الكلى (ΔE) التي تشير إلى تقدم حامض البيروجاليك على حامض العفصيك، وتدنى تلك القيم (بزيادة عددها) مع محلول حامض التانيك، وهو ما يمكن مطالعته كليةً من صورة الحبر قبل وبعد العلاج رقم (13)، قيم ΔE للحبر المكشوط و الممسوح قبل وبعد العلاج جدول رقم (21) ونمطه الإحصائي

صورة رقم (13) حبر تانات الحديد المكشوط والممسوح بعد ترميمه وإنعاشه بمحاليل حامض العفصيك، التانيك والبيروجالول المثارة بالموجات فوق الصوتية (مثال)

جدول رقم (21) ونمطه الإحصائي لقيم التغير اللوني (ΔE) لحبري تانات وبيروجالات الحديديك المكشوطين والممسوحين قبل وبعد العلاج بالمحاليل المثارة

ΔE / محلول العلاج	حبر تانات الحديدوز		حبر بيروجالات الحديدوز	
	المكشوط	الممسوح	المكشوط	الممسوح
قبل العلاج	32.12	52.20	30.83	51.18
حامض العفصيك	11.25	19.69	22.84	19.66
حامض التانيك	19.43	27.64	19.76	26.65
البيروجالول	6.38	9.04	7.11	9.32



ج- التفاعلات : Reactions

استنادًا إلى كيمياء الأحبار التفاعلية Sympathetic inks – ومن بينها أحبار العفصوتانين المعدنية – الناتجة عن تفاعل مادتين لخلق لون الحبر الأسود في وسيط مذيب كالماء يمثل بيئة التفاعل وشريكه أو قاسمه المشترك، لاسيما وأن مركبات التانين (العفصوتانين) القابلة للتحلل مائيًا Hydrosable tannins تتسم بشراهة الميل لتكوين تفاعلات كيميائية مع أيونات الفلزات الانتقالية Transition metals كأيونات الحديدوز Fe (II) ions، واعتمادًا على مفهوم الحبر السري Secret ink كأحد الأحبار التفاعلية أيضًا،

والتي تقوم على تأجيل التفاعل الحادث هذا بين أحد المركبات الفينولية Phenolic compounds – الاصطلاح الثاني لمركبات العفصوتانين – والتي تمثلها المواد والخلاصات Extracts المستخدمة لتحضير محاليل الإنعاش والترميم بالدراسة الحالية، والمكافئات المعدنية التي تمثلها كبريتات الحديدوز المستخدمة لصناعة الأحبار المستخدمة لتدوين ونسخ وكتابة المخطوطات والوثائق ليحدث فوق حواملها الورقية، وغيرها من الحوامل البروتينية والسليلوزية بديلاً عن آنية تجهيز تلك الأمدة السوداء، وتحقيقًا لمبدأ درأ التزييف والتزوير في أصل المستند المخطوط، فقد أخذت الدراسة الحالية على عاتقها تحقيق ذلك، مع الاستعانة بتلك المبادئ والنواميس التي من شأنها إعادة الكتابات الباهتة، المكشوطة والممسوحة بكل وسائلها المدرجة إلى سابق عهدها وقت تنفيذها كتابةً أو نسخًا دون أن يطرأ عليها تغيير يذكر في تركيبها وصفاتها الكيميائية.

ونظرًا لبقاء جزء غير قليل من الأيونات المعدنية بخطوط الحبر ورسومه استخدمت مركبات العفصوتانين كمُظهر Developer لها من خلال والتراكب Complexing وأيونات الحديد مثلاً بشكل يشبه تفاعلها معها وقت صناعة حبرها الأساس. هذا، وقد تفاعلت مركبات العفصوتانين من خلاصتها بالعفص Gall، والإهليلج Myrobalan، أو من خاماتها المستخلصة منها كحامض التانيك Tannic acid، والعفصيك Gallic acid، فضلاً عن البيروجالول Pyrogallol ... وغيرها مع ما تبقى من أيونات الحديدوز بعد بهتانها أو كشطها وإزالتها بدرجات متباينة تعتمد على قوة ارتباطها وتلك الأيونات، ومقدار ما تحتويه من مجموعات اللون Chromophores، لاسيما مجموعات الهيدروكسيل (-OH)، فضلاً عن نقاء المواد وخلاصاتها المستخدمة في العلاج، أو احتوائها على مجموعات حامض العفصيك في تركيبها كمركبات البيروجالول، حامض العفصيك وحامض التانيك الخالصة ومخاليطها، وتواجدها في خلاصات العفص والإهليلج، هذا إلى جانب مقدار أيونات الحديدوز وتركيزها في مساحة العلاج الصغيرة أو على صعيد أكبر من ذلك، وللدقة في تنفيذ العلاج وأسلوب التغطية دور لا ينكر حيال ما تقدم.

ورغم النتيجة غير المتوقعة لحامض التانيك المثار بالموجات فوق الصوتية Sonication، فقد كانت تلك الإثارة ناجحة في اختزال(تقليل) جزيئات مواد العفصوتانين أو تقريب حجومها ليحدث التجانس في توزيع حبيباتها في معلقاتها Suspensions، ما يؤدى إلى زيادة في قوة التغطية وتجانسها عن محاليلها التقليدية العادية عند استخدامها لعلاج البهتان والأحبار المكشوطة والممسوحة، بيد أن عملية الإثارة تلك لم تزد في درجة اللون الأسود الناتج عن العلاج، فعلة ذلك قد طرحت سلفًا من قبيل مجموعات اللون السابقة وغيرها.

وخلافًا لما ذكر سلفًا، تتفاعل مركبات العفصوتانين والمركبات الفينولية مع بقايا أيونات الحديدوز في خطوط الحبر ورسومه لتعطى متراكبات تجمعهما حسب التفاعلات التالية كأمثلة لها :

- Fe^{2+} ions + Gall extract ➔ Iron gall complex.
- Fe^{2+} ions + Gallic acid ➔ Fe^{2+} gallate complex.
- Fe^{2+} ions + Tannic acid ➔ Fe^{2+} tannate complex.
- Fe^{2+} ions + Pyrogallic acid ➔ Fe^{2+} pyrogallate complex.

وتتأكسد المتراكبات الثنائية إلى نظيرتها الثلاثية كجالات الحديدوز الناتجة عن تفاعل حامض العفصيك وأيونات الحديدوز إلى جالات الحديديك gallate Fe^{3+} باستهلاك الزيادة من أيونات الحدديوز في أكسدة مركب حامض العفصيك، واختزال محتواه من مجموعات الهيدروكسيل خلال هذا التراكب، ما يعد تقييدًا وتكليبًا لأيونات الحديدوز تلك، ومنعها من تحفيز عمليات الأكسدة المختلفة لمادة الحبر وحواملها السليلوزية كدور مانع للأكسدة Oxidation inhibitor، وهو دور مألوف للمركبات الفينولية ومشتقات التانين. وبشأن تفوق نتائج علاج الأحبار الممسوحة على نظيرتها المكشوطة، فهو عائد إلى تأثير بقايا الحامض على اللون الناتج عن العلاج، وهو ما دعي القدامى إلى إضافته لتحسين خواص أحبار العفصوتانين المعدنية قديماً.

د- النتائج والتوصيات : Results and recommendations

- تضع الدراسة أسسًا وقواعد إجراء مثل هذه العلاجات، بعضها سابق في دراسة سلفت ذات صلة، والآخر إضافة له للحيلولة دون وقوع أخطاء أو نشأة تفاعلات متلفة، ومنعًا لشبهة التزوير أو التزييف Forgery or counterfeiting اجتهادًا لا يعتمد على مرجعية أو استشهاد لحداثة المحاولة، وتشمل :
  - ألا يطرأ تغير علي التركيب الكيميائي للكتابات، وأن تتم بمواد طبيعية ذات صلة بتركيب الأحبار، مع الاحتفاظ بنسخ مصورة وموثقة للكتابات الجاري علاجها بالإنعاش أو الترميم.
  - لا يتخلف عن العلاج في كل الحالات رائحة، أو تبقع لحوامل الكتابة المعالجة أو تغير في مظهر وحدود الكتابات الأصل.
  - يجب أن تكون المواد المستخدمة غير سامة Non-toxic، وغير ضارة بالصحة.
  - لتجنب حدوث أكسدة لاحقًا يمكن إضافة أحد موانع الأكسدة كمضادات الأكسدة Anti-oxidants أو عوامل الربط Chelating agents المشهود لها كفيتات الكالسيوم والماغنسيوم رغم تقييد محاليل العلاج لأيونات الحديدوز كصفة مضادة للأكسدة، كما يمكن إضافة كربونات الكالسيوم نانوية الجسيمات لمنع انخفاض قيمة الأس الهيدروچيني مستقبلاً.
  - العلاج الموضعي لأطر وحدود الكتابات لمنع تفاعل محاليل العلاج مع الأيونات المعدنية المهاجرة ببقية الحامل الورقي مكونة بقعًا سوداء.
  - يفضل استخدام محاليل المواد المستخدمة في تحضير الأحبار الباهتة أو المكشوطة عند استخدامها للكتابة على وجه الدقة، أو بديل من جنسه كأحد المركبات الفينولية أو مواد العفصوتانين كأن يحل حامض العفصوتانيك محل حامض التانيك، وكذلك محل حامض العفصيك، أو أن يحل البيروجالول محل حامض العفصيك أو محل حامض العفصوتانيك (الجالوتانين).
  - أن يتم العلاج بالإنعاش أو الترميم قبل إجراء علاجات الأكسدة للحصول على التفاعل المطلوب قبل تقييد أيونات المعادن بواسطتها.
- تعتمد جودة النتائج في علاج الكتابات الباهتة والمكشوطة على درجة وقابلية مادة العلاج للتفاعل مع الأيونات المعدنية، مجموعات اللون كمجموعات الهيدروكسيل Hydroxyl groups في تركيبها، مقدار ما تبقى من أيونات الحديدوز في الكتابات الجاري علاجها، ودقة التطبيق، التوزيع والتجانس.
- بجانب عدم تغييرها للتركيب الكيميائي الأصلي للكتابات، فإن المواد المستخدمة لتحضير محاليل العلاج متوفرة بأكثر من بديل طبيعي كالعفص، الإهليلج، السماق Sumac، وآخر مستخلص كأحماض التانيك والبيروجالول، فضلاً عن كلفتها القليلة نسبيًا، وسهولة تحضير محاليلها.

- تعطى محاليل البيروجالول وحامض التانيك أفضل النتائج ، بيد أن اللمعان الملحوظ يهدد فرصة حامض التانيك في جودة علاجه ، ولكن يمكن التغلب عليها بخفض تركيزه.
- تعطى بعض المحاليل الأخرى بالدراسة نتائج مرضية كحامض العفصيك، وخليطه مع العفص أو الإهليلج، وكذلك محاليل العفص والإهليلج، غير أنها تحتاج لمزيد من الدراسات للحصول على جودة علاجية أفضل باستخدامها.
- للمحاليل المثارة بالموجات فوق الصوتية Sonication تأثير جيد على نتائج العلاج بها على صعيد قوة التطبيق والتجانس للون الناتج لبعض المحاليل كالبيروجالول .... عدا حامض التانيك الذي أعطى نتيجة سيئة بعد إثارته، غير أن تلك التقنية لم تحسن اللون عند العلاج مقارنةً بالمحاليل التقليدية.
- تمثل الدراسة ضيفًا غير مرغوب فيه من قبل اختصاصي الصيانة لتمثيلها نوعًا من التزوير أو التزييف من وجهة نظرهم، إلا أنها لا تحدث شيئًا من ذلك، مادامت لم تغير في التركيب الكيميائي الأصلي للكتابات والزخارف ، وليست إضافة بل إنه علاج ناتج عن تفاعل كيميائي، كما أن محاليل العلاج من مواد طبيعية مستخدمة سلفًا في تحضير تلك الأحبار.

References:

1- **Biao Li, M and Peng Xie, D : Dating of iron gall ink using the dissolution – diffusion method. In *Journal of Forensic Sciences, vol. 60, Issue2.* China criminal police University. Shenyang, China. 2015.**
2- **Carvalho, D.N : Forty centuries of ink; Achronological narrative concerning ink and its backgrounds, scanned by keller, C. Blackmask online. London. 2001.**
3- **Condom, G : Medieval ink – three were two. UK history. England. 2014.**
4- **Eusman, E : Iron gall ink. Library of Congress. Washington. 1995.**
5- **Ghule, K., et-al : Preparation and characterization of ZnO Nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study. In *Green chemistry, vol 8*. 2006.**
6- **Hagerman, A.E : Tannin chemistry; Hagerman publication list. Maimi Uniersity. USA and England. 2002.**
7- **Nga, C.S., et-al : Rustworthy. Heep Yunn school. China. 2013.**
8- **Priyadarsini, K.I, et – al : Free radical studies of ellagic acid, a Natural phenolic antioxidant. In *journal of agricultural and food chemistry*. Germany. 2002.**
9- **Rgan, C., et-al : Corrosive media; Iron gall ink corrosion. Congress Library. USA. 2008.**
10- **TAPI 1985 a,b and ASTM 1987.**
11- **The ink corrosion website (http://www.irongallink.org/).**