ورق حقيقى من البردى

د . وفيقة نصحى وهبة* د . ماجدة جودة المليجى*

يعتبر البردى من أهم المواد فى التاريخ القديم والتى استخدمت كمادة لكتابة الوثائق والمخطوطات . فقد ظل البردى وسيلة للحياة الفكرية فى مصر - وغيرها - واستمر استخدامه لنقل تاريخ وذاكرة وحضارة الشعوب لمدة أربعين قرناً من الزمان منذ العصور الفرعونية وحتى العصور الإسلامية .

إلا أن صناع الورق فى العصر الحديث أطلقوا عليه أنه ورق زائف أو ورق غير حقيقى ، لأنه لم يتم تصنيعه من ألياف مطبوخة[١] .

وفى هذا البحث تم لأول مرة صناعة أفرخ ورقية من نبات البردى بعد طبخة وتحويله إلى لب بطرق كيميائية (طريقة الصودا - وطريقة الكرافت) تحت ظروف متحكم فيها . ووجد أن الورق الناتج له خواص ميكانيكية عالية تماثل الورق الناتج من لب الخشب المعالج والمستورد من الخارج . بل وتفوق الخواص الميكانيكية للورق الناتج من المخلفات الزراعية الأخرى مثل مصاصة القصب وقش الأرز . والتى يطلق عليها نباتات غير خشبية.

ووجد أن الورق الناتج له خاصية عتامة تفوق الورق الناتج سواء من لب الخشب أو قش الأرز ومصاصة القصب[٢] .

وكان للنتائج الهامة التى تم التوصل لها فى هذا البحث دور هام فى تشجيعنا لاستخدام اللب الناتج فى مجال علاج وصيانة الوثائق والمخطوطات التاريخية التالفة وتقويتها بترسيب طبقة رقيقة من الألياف على البردى الضعيف[٣].

المقدمة :-

للبردى القديم والذى كتب عليه القدماء سطح جيد للكتابة ، يماثل الورق الحديث . فالبردى يحتوى على نسبة عالية من الخلايا البرنشيمية والمواد اللاصقة[٤][٥] .وقد أوضح رجب عالم البردى المصرى الحديث أن ترابط ألياف البردى القوى ، ليس ناتجاً عن العصارة الصمغية فى الخلايا ، ولكن يعود إلى الطبيعة الرابطة والمدمجة فى الخلايا النسيجية فى طبقات البردى .

كما يحتوى نخاع نبات البردى على العديد من الفراغات والفجوات مما يؤدى إلى زيادة مساحة الاتصال الجزئى بين الألياف وذلك يجعله مناسبا للكتابة . وكذلك يحتوى نخاع البردى على كميات كبيرة من حزم (روابط) الأوعية الليفية Fibro - Vascular (bundles) مما يعطيه صلابة عالية[٥] .

---

*مدرس بقسم ترميم الآثار - بكلية الآثار - جامعة القاهرة

*باحث بالمركز القومي للبحوث

وتعتبر عمليات الطبخ والتبيض ضرورية جداً للحصول على ورق جيد من المخلفات الزراعية لأنها تزيل اللجنين والرماد والمواد الراتنجية بنسب كبيرة وتحرر السليلوز لكى تصبح الألياف أكثر متانة[٤] .

المواد والطرق المستخدمة فى البحث Material and Methods

أ - المادة الخام Raw material

الخامة المستخدمة هى نبات البردى

ب - إعداد اللب Pulping

١ - تجهيز العينات : -

يقطع النبات إلى أجزاء صغيرة ويجفف فى الفرن عند ٤٥مْ ثم يوضع فى أكياس بلاستيك لحين طبخه.

٢ - عمليات الطبخ :-

تتم فى أوتكلاف حرارى يعمل بالزيت (لفتين / دقيقة) .

وفى هذا العمل تم استعمال أربعة تركيزات للصودا والكبريتيد ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ ، ٢٥ % (من وزن المادة الخام) . وتحسب نسبة الكريتيد كالآتى[٧] : -

$$\text{الكبريتيد \%} = \frac{\text{كبريتيد الصودا} \times ١٠٠}{\text{هيدروكسيد الصوديوم + كبريتيد الصودا}}$$

زمن التجربة ساعة ونصف ونسبة المحلول المائى إلى العينة ١ : ٦ عند درجة حرارة ١٧٠مْ.

٣ - تبييض اللب الناتج من عمليات الطبخ :-

فى هذا البحث تم تبييض لب البردى الناتج من عمليات طبخ الصودا أو ا .

التحليل الكيميائى للب البردى :-

تم إجراء تحليل لنبات البردى قبل وبعد الطبخ والتبييض لمعرفة نسبة السليلوز والفا سليلوز والهيمسليلوز وكلسون لجنين(٩) ونسبة الرماد (١١)، ودرجة البلمرة(١٢) .

٤ - صناعة الورق :-

يتم ضرب اللب المبيض الناتج من طبخ البرد .

التحليل الكيميائى للب البردى :-

تم إجراء تحليل لنبات البردى قبل وبعد الطبخ والتبييض لمعرفة نسبة السليلوز والفا سليلوز والهيمسليلوز وكلسون لجنين[٩] ونسبة الرماد [١١]، ودرجة البلمرة[١٢] .

٤ - صناعة الورق :-

يتم ضرب اللب المبيض الناتج من طبخ البرد من كبريتات الألومنيوم حتى درجه أس هي 4.5 درجيني ويتم تكيف الورق الناتج حوالى ٢٤ساعة عند درجة حرارة ٢٠م٥ و٥٠% رطوبة نسبية ٠

يتم قي الخ سلواص الضوئية مثل النصاعة(١٣) والقتامه(١٤) . وكذلك يتم قياس الخواص الميكانيكية مثل قوة الشد وقوة الانفجار والتمزق من كبريتات الألومنيوم حتى درجه أس هيدروجيني ٤,٥ . ويتم تكيف الورق الناتج حوالى ٢٤ساعة عند درجة حرارة ٢٠م° و٥٠% رطوبة نسبية ٠

يتم قياس الخواص الضوئية مثل النصاعة[١٣] والقتامه[١٤] . وكذلك يتم قياس الخواص الميكانيكية مثل قوة الشد وقوة الانفجار والتمزق والحمل القاطع[١٥] . أيضاً تم تعيين درجة التشرب ٠

النتائج والمناقشة :-

١ - تقليل اللجنين من البردى بالصودا أو الكرافت

يتكون اللجنين أساساً من مجموعات فينيل بروبان وهذه المجموعات ترتبط مع بعضها بسلاسل . هذه السلاسل تتكسر أثناء عمليات الطبخ الكيميائى لكى يتحرر السليلوز[١٦].

يتحول اللجنين إلى قطع صغيرة عند طبخه بمحلول هيدروكسيد الصوديوم بواسطة أيون الهيدروكسيل أما فى حاله الكرافت فإن اللجنين يتحول إلى قطع صغيرة بواسطة أيونات الهيدروكسيد والهيدروسيلفيد ٠

وهذه القطع الصغيرة من اللجنين سواء طريقة الصودا أو الكرافت تذوب كأيونات فينولات أو كربوهيدرات ٠

يقل نسبة الفاقد من الفاسليلوز مقارنة بالهيمسليلوز نظراً لأن أيون الهيدروكسيل صعب التغلغل فى الجزء البللورى من السليلوز لكن أثناء عمليه إزاله اللجنين تذوب الكربوهيدرات ذات الجزيئات الصغيرة ولذلك يقل الهيمسليلوز نوعا ما ٠

من الجدول (١) نلاحظ مايلى :-

أ - الناتج من طبخ الكرافت أعلى من طبخ الصودا (شكل ١) ٠

ب- الفاسليلوز والرماد تزيد بزيادة تركيز الصودا وكبريتيد الصوديوم بينما يقل اللجنين والهمسليلوز (أشباه السليلوز) (شكل ٢ ، ٣)

ج- الفاسليلوز فى طبخ الصودا أعلى من طبخ الكرافت ٠

د - اللجنين والهمسليلوز ونسبة الرماد فى طبخ الكرافت أعلى من طبخ الصودا ٠

ونستنتج من جدول (١)
أن أفضل نسبه هى ٢٠ و ٢٥ % سواء بالنسبة للصودا أو الكرافت ٠

٢ - تبييض لب البردى

التبييض ضرورى جداً لإزاله معظم اللجنين المتبقى بعد عمليات الطبخ نظراً لأنه فى المرحلة الأخيرة لإزالة اللجنين نجد أن إزالة تكسير الكربوهيدرات أعلى من ذوبان اللجنين لذا لابد من إيقاف عملية الطبخ وإزالة اللجنين المتبقى لكيماويات مناسبة[٦] ٠

وفوق أكسيد الأكسجين (ماء الأكسجين) عند درجه أس هيدروجينى ١٠ + ٥, يفكك المجموعات الملونة فى اللجنين وذلك بتكسير الروابط الثنائية وعند درجة حرارة من ٧٠-٨٠مْ يتكون أيون فوق الهيدروكسيل ويكون أكثر قدره على تكسير مكونات اللجنين . ودرجه النصاعه بعد التبييض كانت ٤٠،٤٨،٦٠،٦٤ % لتركيزات ١٠،١٥،٢٠،٢٥ % بالترتيب عند الطبخ بالصودا أما فى طريقه الكرافت كانت درجة النصاعة هى ٢٥،٣٩،٥٦،٥٩ % لتركيز ١٠،١٥،٢٠،٢٥ % بالترتيب وتم اختيار لب ٢٠% صودا أو كرافت المبيض لعمل ورق وزن المتر مربع منه ٦٠ جم/م^{٢} وأجراء التحاليل الكاملة له . لأن نسبة اللجنين فى لب ٢٠،٢٥ % متقاربة سواء فى حالتى الصودا أو الكرافت وكذلك درجة النصاعة كما سبق ذكره ٠

من جدول (٢) نلاحظ مايلى
ناتج لب الكرافت > ناتج لب الصودا
الفاسليلوز لب صودا > لب كرافت
درجة نصاعة لب صودا > درجة نصاعة لب كرافت

ويتضح من جدول رقم (٢) أن الفاسليلوز تزيد بالتبييض فى حين تقل نسبة اللجنين والهيموسليلوز ونسبة الرماد ٠

الخواص الطبيعية لأفرخ الورق المصنعة من البردى
الخواص الميكانيكية والضوئية تقاس قبل وبعد الإضافات (٥% بودرة تلك و٢% مواد راتنجية) ٠

جدول ٤ يوضح لنا أن درجة العتامة وزمن تشرب الأحبار تزيد بالإضافات فى حين تقل الخواص الميكانيكية بوضوح ٠

وعموما تزيد درجة العتامة نتيجة لإضافة التلك كمادة مالئة تملأ الفراغات بين الإلياف وذلك يجعل الورق صالحاً للطباعة [٦] . وكذلك فإن زمن التشرب يزداد نتيجة لإضافة مواد راتنجية التى تترسب كقلفونيات الإلمونيوم عند درجة أس هيدروجين ٤,٥ مما يجعله أقل شراهة للسوائل وبالتالى يمنع انتشار الأحبار[٦] ٠

أما الانخفاض فى الخواص الميكانيكية فهذا يعود لاختزال الروابط الهيدروجينية التى حجزت نتيجة تكوين روابط جديدة بين المادة المالئة والألياف بدلاً من الروابط الهيدروجينية بعضها ببعض[٦] .

ارتفاع الخواص الميكانيكية للورق المصنع من لب البردى :

وبصفة عامة فأن الورق الناتج من البردى له متانة عالية وذلك يعود لوجود نسبة عالية من الألياف[٤] وطول آليافه التى تبلغ حوالى ١,٤ سم[١٧] (لب الخشب ١,٢ سم) وكذلك لوجود جزم من الأوعية الليفية التى تعطيه هذه الصلابة .

وتعتبر درجة نصاعة ورق البردى منخفضة إذا ما قورنت بالمخلفات اللمنو سليلوزية الأخرى وذلك لوجود نسبة عالية من الخلايا البرانشيمية[٥و٧] .

جدول (٣) يوضح ما يلى

درجة العتامة والخواص الميكانيكية للب الكرافت > لب الصودا .

زمن تشرب لب الكرافت = زمن تشرب لب الصودا .

التطبيقات العملية للب البردى فى مجال علاج وصيانة المخطوطات :

لقد كان الهدف الرئيسى من هذه الدراسة هو الحصول على لب ملائم وجيد يستخدم فى مجال صيانة المخطوطات والوثائق التالفة ، وبصفة خاصة صيانة البردى . وكان للنتائج الهامة التى تم التوصل إليها فى هذه الدراسة والتى مكنتنا من استخدام هذا اللب فى صيانة البردى التالف.

فعلى الرغم من أن البردى عند تصنيعه ، عادة ما يتمتع بصفة المرونة ، إلا أنه دائما ما يتعرض إلى التمزق والتفتت بمرور الزمن ، خاصة عند تداوله ، وتصبح حوافه ممزقة وبه عديد من القطوع .

أيضاً عند حفظه فى ظروف غير ملائمة ، يتعرض إلى التحلل ويميل لونه إلى الدكانة والاصفرار ويتأكسد ويصبح ضعيفاً وهشاً وقد يتحول إلى الهيكل الليفى المكون له . بل وقد يصل إلى مرحلة التحول إلى حفنة من المسحوق[٤] .

الطرق الجديدة والمبتكرة التى أتبعت فى صيانة البردى الضعيف :

عادة ما حفظ القدماء البردى القديم فى صورة أسطوانة أو لفائف . وحتى الوقت الحالى عادة ما يتم فرد هذه اللفائف ووضعها على خلفيات من الورق أو الكرتون ، الأبيض أو الملون . وهذه الخلفيات تتحول بمرور الوقت إلى مصدر تلف بالغ للبردى خاصة وأنها عادة ما تكون من مواد رديئة . ويمكن اعتبار هذا النوع من التلف هو المصدر الرئيسى لتلف الوثائق والمخطوطات المصنوعة من البردى داخل المتاحف والمكتبات .

تبطين البردى باستخدام تكنيك معلق اللب leaf casting :

والهدف من هذا التكنيك الجديد هو العمل على ايجاد مادة ملائمة تحل محل التبطين القديم وتعمل كبديل للخلفية التالفة ، وفى نفس الوقت تعمل على تقوية البردى بشكل دائم وجيد وتكون رقيقة لا تؤثر على مرونة البردى . وهو ما تحقق فى طريقة التبطين الجديدة ٠

تحضير معلق لب البردى The leaf casting plup :

حيث استخدم لب الكرافت Kraft pulp ٢٠% الذى سبق تحضيره وبدون أى إضافات ، حيث يتم نقع ١٥ جرام من اللب الجاف فى ١٠٠٠ مل من الماء لمدة ساعة ٠

الطريقة : وفى هذه الطريقة يتم عمل الخلفية بطريقة غير مباشرة على خلفية الأثر (البردى) حيث يتم قبل عملية إعادة التبطين التنظيف الجيد . أيضاً يتم إزالة الخلفية القديمة عن طريق التحكم فى الرطوبة وباستخدام مزيج من الماء والكحول . مع أخذ الاحتياطات اللازمة ويجب إزالة جميع بقايا اللاصق القديم كلية قبل عمل البطانة الجديدة ٠

ثم توضع البردية التى لا تزال رطبة بين سطحين من الورق الماص وتوضع تحت أثقال . بعد عشر دقائق تقريباً يرفع الأثر من أسفل الأثقال . ويتم وضع وجه البردى فى مواجهه سطح من اللباد ٠

و يتم طلاء خلفيه البردى بلاصق نشوى أو يمكن استخدام لاصق من مشتقات السليلوز المائية . وفى نفس الوقت يتم صب معلق لب البردى فى خزان جهاز الترميم بمعلق اللب leaf casting machine ويخفف تركيز المعلق إلى ٠,٥% . حيث يتم تشغيل الشفط لسحب معلق الألياف من الخزان إلى مسطح عمل الجهاز . مع الأخذ فى الاعتبار حساب كمية اللب اللازمة للحصول على المساحة والسمك المطلوب . ليتم فى النهاية ترسيب لب ألياف البردى على السطح الشبكى للماكينة بالمساحة المطلوبة ٠

عند هذه المرحلة تكون درجة تجفيف الورق الذى تم صبه ١٥ % . ويتم بعد ذلك رفع سلك الماكينة والذى يحمل لب البردى الذى تم صبه . ليوضع على خلفية الأثر (البردى) ثم يغطى بالماء ويوضع داخل المكبس ٠

بعد ثوان قليلة يرفع البردى وما يحمله من حامل جديد ويوضع بين ورق ماص ليوضع على أسطوانة التجفيف Drum وهى تشبه إلى حد كبير تلك الأسطوانة المستخدمة فى تحضير الورق صناعياً داخل مصانع الورق وهى طريقه جيدة وسريعة للتجفيف وتترك لمدة ساعتين حيث يتم التجفيف الكامل للخلفية وما تحمله من بردى ٠

وتعمل هذه الطريقة على تقريب الألياف الواحدة بجانب الأخرى . ونتيجة لاتحاد كل من الضغط والحرارة يتم الحصول على ترابط جيد بين البردى والبطانة ، هذا بالإضافة إلى الروابط الناتجة عن مجموعات الهيدروكسيل فى السليلوز بالإضافة إلى الربط الجيد الناتج عن استخدام طبقة رقيقة من اللاصق . لتكون المحصلة النهائية بردى مرتبط بشكل جيد

ومنتظم مع الخلفية الجديدة . وهذه الطريقة تجنب البردى البلل الكامل وبالتالى تمنع تكون التجاعيد والغضون أو أى تشوه شكلى ٠

ومن الطبيعى أن تؤدى هذه الطريقة إلى زيادة طفيفة فى سمك البردى ، لكن تبقى على مرونة والملمس الأصلى لوجه البردى ولا يظهر أى تغير فى المظهر العام لسطح البردى . شكل (٤) ٠

ومن مميزات هذا الأسلوب فى العلاج أنها طريقة مسترجعة يمكن إزالتها بدون حدوث أى آثار جانبية تشوه من الأثر ٠

تقوية البردى الضعيف والهش :

فى الوقت الحالى عادة ما يتم بعد مرحله فرد البردى ، تقطيع لفائف البردى إلى مساحات مناسبة ٠

ومن الطرق الشائعة للحفظ تثبيت البردى بين سطحين من الزجاج أو وضعه على كرتون ثم حفظه بين سطحين من الزجاج . وإذا كانت الخلفية تحمل كتابات ونقوشاً قد تؤدى هذه الطريقة إلى اختفائها ٠

لذلك تمت عدة تجارب فى هذا البحث وتم التوصل إلى أن الطريقة النموذجية لعلاج مثل هذه النوعية من البردى الضعيف هو تقويته من جانب أو من كلا الجانبين باستخدام طبقة متناهية من الرقة من ألياف البردى (٦ جرام/ م^{٢}) من اللب الذى سبق تحضيره بطريقة الكرافت أو طريقة الصودا ٠

وقد تم تطبيق هذه الطريقة على عينات من البردى الحديث ، حيث تم ترسيب طبقة رقيقة من الألياف على خلفية البردى بعد طلائه بلاصق نشوى أو من مشتقات السليلوز المخفف بالأسلوب السابق مع الاختلاف فى كميه اللب المستخدمة للحصول على أرق طبقة ممكنة شكل (٥) ٠

استخدام لب البردى فى علاج وصيانة الورق الذى به أجزاء مفقودة :

وجدنا أن لب البردى الذى تم تحضيره ذو جودة عالية وواعدة . فبالإضافة إلى خواصه الميكانيكية العالية . فإن من المميزات التى ينفرد بها لب البردى عن بقية الورق المصنع من مصادر أخرى مثل اللب الكيميائى وأيضاً لب فضلات المنسوجات أو اللب المصنوع من القطن والكتان الحديث هى صفة العتامة Opacity لذلك فهو ملائم للاستخدام فى ملئ الثقوب والأجزاء المفقودة للوثائق والمخطوطات الورقية القديمة التى تتميز بالعتامة العالية ٠

لذلك تم ترميم بعض صفحات من المخطوطات السريانية الورقية شكل (٦) وتمت عمليه الترميم على ماكينة الملئ بمعلق اللب leaf casting machine بدون أى إضافه سواء مواد مالئة عضوية أو غير عضوية هذا بالاضافه إلى ما يتمتع به لب البردى من درجة لونيه مقارنة إلى حد كبير لتلك فى الأوراق القديمة لذلك أستخدم اللب أيضاً بدون إضافه لأى

مواد ملونة وبذلك تم تجنب عديد من المشاكل والعيوب الناتجة عن إضافة المواد المالئة والتى عادة ما تؤدى إلى ضعف فى الخواص الميكانيكية ٠

لذلك يمكن القول إن تلك المميزات تجعل لب البردى ملائماً للاستخدام فى علاج وصيانة ليس فقط البردى لكن أيضاً الوثائق والمخطوطات الورقية ٠

النتائج الختامية

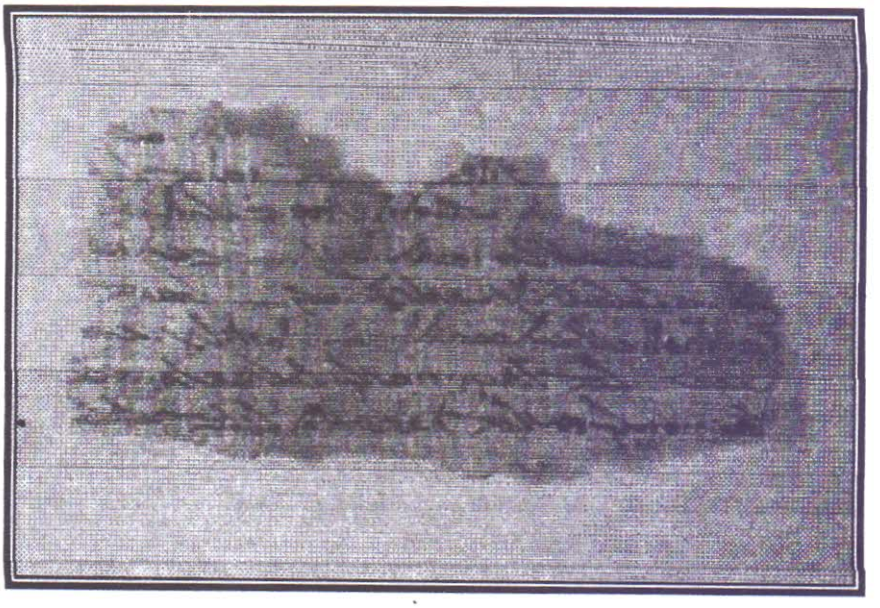
١ - أفضل الظروف لطبخ البردى يكون ٢٠% صودا أو كرافت (نسبة إلى وزن المادة الخام) بنسبة ١ : ٦ محلول مائى (لب إلى ماء) عند درجة ١٧٠مْ لفترة ١,٥ ساعة .

٢ - الورق الناتج للب الكرافت أو الصودا المبيض ذو متانة عالية وأيضاً عتامة لكن درجة نصاعة منخفضة .

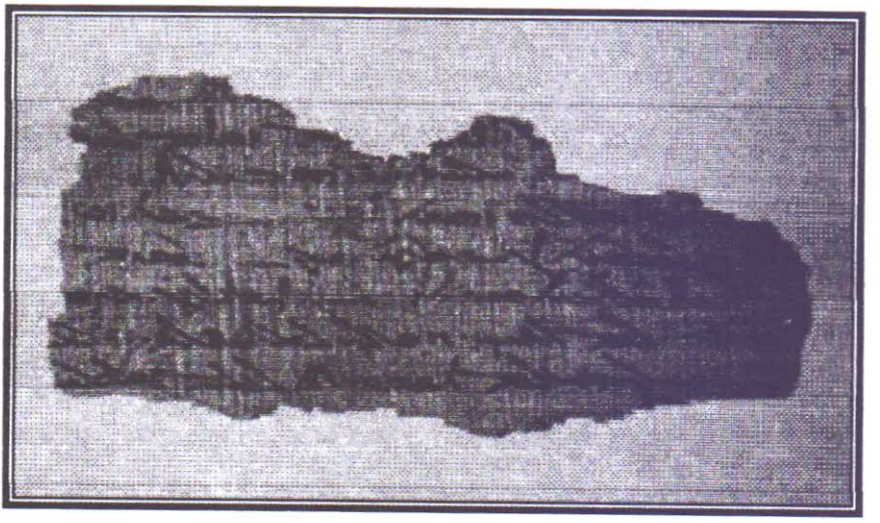
٣ - يمكن استخدام لب البردى بتقنيات متعددة ، إما لملئ الثقوب والأجزاء المفقودة الناتجة عن الحرائق أو الكائنات الدقيقة والحشرات . أو استخدامه لعلاج البردى الضعيف الهش المتمالك لتقويته بترسيب طبقة رقيقة من ألياف البردى أو عمل خلفيه له ٠

مع الأخذ فى الاعتبار أن هذه الطريقة تحقق أهم المبادئ لعملية العلاج والصيانة وهى الحفاظ على القيمة والشكل الجمالى الأصلى للأثر وأيضاً استخدام طريقة مسترجعة .

شكل (٤)
جزء في بردية من المخطوطات السريانية ترجع إلي القرن التاسع من دير السريان بصحراء مصر

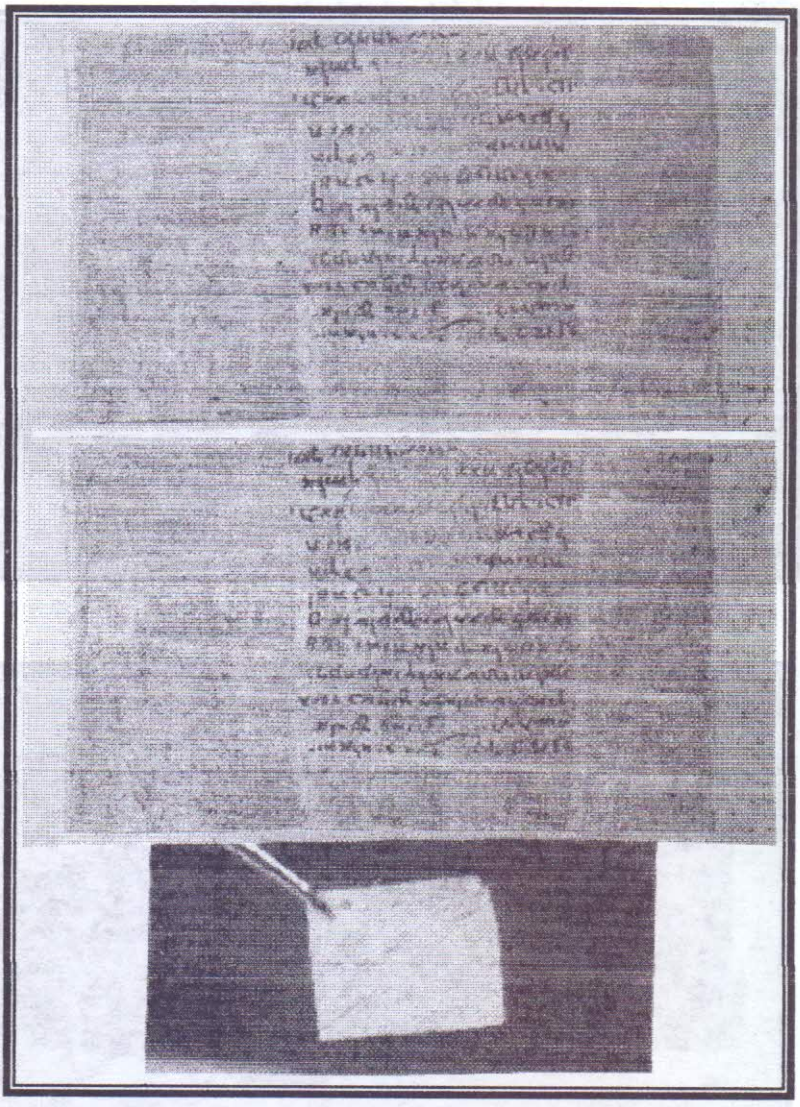


(البردية قبل وضعها في خلفية)



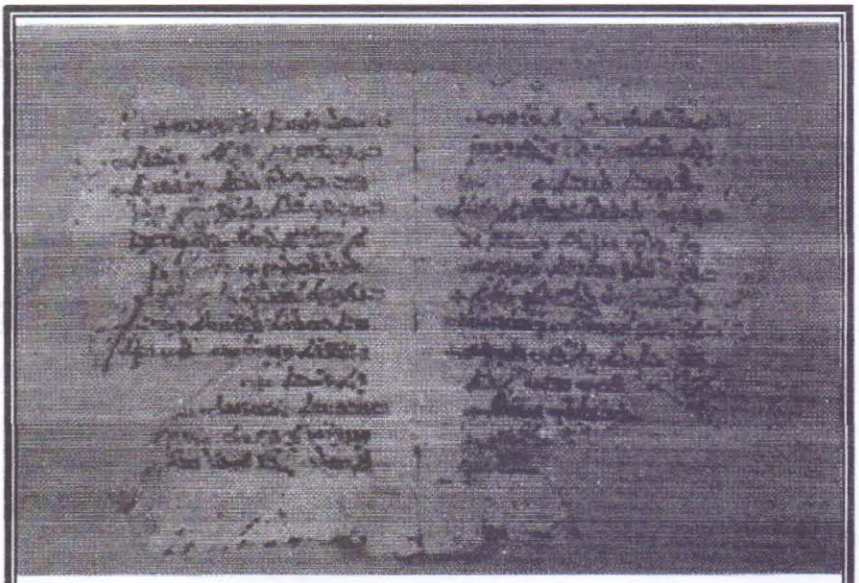
(البردية بعد وضعها علي خلفية من لب البردي)

شكل (٥) قطعة من البردي الحديث ، تم ترسيب طبقة رقيقة من ألياف البردي علي المنطقة المستديرة ، وتظهر الكتابة أسفلها بوضوح

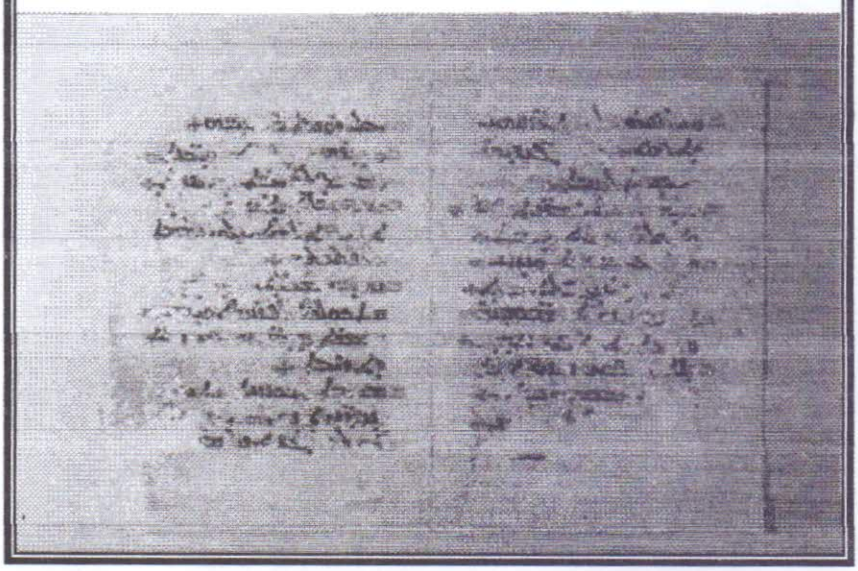


قطعة من الورق الرقيق المصنوع من ألياف البردي ويتضح التجانس اللوني من اللون الأصلي للبردي ، أيضاً تجانس الطابع العام حيث تظهر التهشيرات وهى إحدى السمات المميزة لوثائق

شكل (٦) صفحتان من مخطوط ورقي سرياني يعاني من احتراق الورق أسفل الكتابة



قبل الترميم



بعد الترميم بلب البردي باستخدام طريقة معلق لب الورق – Leaf casting ويتضح التجانس اللوني ودرجة القتامة العالية المطابقة للورق الأثري القديم