

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كلواصق للماركتري في الأثاث الخشبي

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كلواصق للماركتري في الأثاث الخشبي

A comparative study to evaluate the effect of hot water immersion on some bio-adhesives of animal and plant proteins used as marquetry adhesives in wooden furniture

عمرو صلاح عبدالهادي عبدالفتاح*، نسرين محمد نبيل الحديدي²، مراد فوزي محمد عبدالسلام³

* أخصائي ترميم آثار - وزارة السياحة والآثار، ² أستاذ ترميم الآثار - كلية الآثار جامعة القاهرة،
³ مدرس ترميم الآثار - كلية الآثار جامعة القاهرة.

Arch.amr.salah@gmail.com

المخلص :

يعد أسلوب التطعيم بالقشرة الخشبية أحد أقدم وأشهر أنواع التكسيات الفنية للأسطح الخشبية، والذي ظهر في مصر بداية من العصر العتيق "الأسرة الأولى والثانية"، وقد تطور أسلوب القشرة البسيط إلى أسلوب التطعيم بالماركتري خلال العصر المتأخر للأسرات المصرية، وبلغ أوج ازدهاره في عصر النهضة الأوروبية خاصة في الفترة ما بين القرن السابع عشر والتاسع عشر الميلادي، وقد ساهمت النهضة المصرية الحديثة في عهد الأسرة العلوية في انتشار المقتنيات الفنية المطعمة بأسلوب الماركتري في مصر. وتهدف هذه الدراسة إلى تقييم كفاءة بعض اللواصق الطبيعية من البروتينات الحيوانية والنباتية المعرضة لتأثير الغمر الساخن، كأحد أنواع التقادم الصناعي المعجل، لمحاكاة تأثير المياه بشتى صورها على المقتنيات الخشبية المطعمة بأسلوب الماركتري، والتي تعد أهم مسببات تلفها الشائعة، وأيضاً محاكاة تأثير السوائل الساخنة الناتجة عن المشروبات والأطعمة أثناء ممارسات الحياة اليومية حال مازال يتم استخدام الأثاث الخشبي المطعم بأسلوب الماركتري في الحياة اليومية. تم استخدام الجيلاتين الحيواني وغراء جلد الأرنب (بروتينات حيوانية)، وبروتين فول الصويا المعزول وبروتين بذرة القطن المعزول (بروتينات نباتية) كلواصق للقشرة الخشبية، وتقييم كفاءتها من خلال مقارنة مقاومة الشد الميكانيكي باختبار زويك للشد Zwick stress tester والتغيرات البنائية (الكيميائية) من خلال التحليل الطيفي بواسطة الأشعة تحت الحمراء FTIR بطريقة الانعكاس الكلي الموهن Attenuated total reflection ATR، وقد توصلت الدراسة إلى أن بروتين فول الصويا المعزول هو الأعلى كفاءة في مقاومة الغمر في الماء الساخن.

الكلمات الدالة: ماركتري، غراء الجيلاتين الحيواني، غراء جلد الأرنب، بروتين فول الصويا المعزول، بروتين بذرة القطن المعزول، الشد الميكانيكي، لواصق الخشب، مقاومة الماء

Abstract:

The method of wooden veneer inlay is one of the most famous and oldest types of artistic decorations for wooden surfaces, which appeared in Egypt since the first and second Dynasties in ancient Egypt. This technique developed into the marquetry inlay method during the late era of the Egyptian dynasties and reached its peak in the European Renaissance, especially in the seventeenth and nineteenth centuries AD. In the modern Egyptian renaissance during the era of

the *Alawia* dynasty a spread of artistic furniture inlaid with the Marquetry style was common in Egypt.

The aim of study is to evaluate the effectiveness of some natural adhesives of animal and plant proteins exposed to hot water immersion as a method of accelerated industrial ageing, to simulate the effect of water, which is the most important cause of damage in all its forms on inlaid and veneered wood. Animal gelatin and rabbit skin glue (animal proteins), isolated soybean protein and isolated cottonseed protein (vegetable proteins) were used as adhesives for wood veneer, by comparing the mechanical tensile strength with Zwick stress tester and the chemical changes through analysis Spectroscopy by FTIR using the Attenuated total reflection (ATR) method. The study concluded that the isolated soybean protein gave the highest efficiency against immersion in hot water.

Key Words: Marquetry, animal gelatin glue, rabbit skin glue, soy protein isolate, cottonseed protein isolate, tensile test, wood adhesive, water resistance

المقدمة

تتمتع تقنية المواد اللاصقة بتاريخ طويل وواسع. حيث استخدم غراء الحيوانات، الذي ربما يكون مصنوعاً من جلود الماشية أو الأغنام (أو كليهما)، في لصق زخارف لحاء الكرز على قوس من العصر الحجري الحديث عمره 5000 عام من سويسرا. وفي مصر القديمة، ثبت استخدام غراء الحيوانات لتثبيت طبقات التذهيب على الأثاث الخشبي. واستخدم إما جلود البقر أو غراء فول الصويا على أعواد يابانية من القرن الثامن عشر مع تطعيمات العاج واللؤلؤ وخشب البقس وخشب الصندل.¹

من خلال التحاليل التي أجراها (Elie-Lefebvre وآخرون)² لتحديد نوع الأحماض الأمينية المكونة للواصق المستخدمة في لصق القشرة لأثاث الماركترى المنفذ بأسلوب "بول" خلال القرن الثامن عشر اتضح أنها من مشتقات الكولاجين، وبذلك أكد على أن العينات المأخوذة ست عشرة عينة هي أصلها غراء الثدييات، وإثنين فقط غراء السمك ويفضل توضيح Daniel Alcouffe المدير السابق لقسم الأعمال الفنية في متحف اللوفر، اتضح أن أجزاء التطعيم المأخوذ منها عينا غراء السمك تمت إعادة لصقهما في التسعينيات، وبالتالي فإن هاتين العينتين لغراء ترميم حديث.

لا يمكن التقليل من الأهمية التكنولوجية والوظيفية للمواد اللاصقة، وترجع أهمية المواد اللاصقة في تنفيذ التطعيم بأسلوب الماركترى بأنها حجر الزاوية، لتثبيت القشرة على الأسطح المراد تكسيته، وللمواد اللاصقة أشكال متعددة بخصائص متفاوتة نذكر منها اللزوجة، والمرونة، والهشاشة، ومقاومة الماء، والشفافية.³

يمكن تقسيم المواد اللاصقة من حيث طبيعة النشأة إلى فئتين، المواد اللاصقة الطبيعية، والمواد اللاصقة الصناعية. وتعد الأزمة البيئية الناجمة عن استخدام اللواصق الصناعية خاصة البوليمرات البترولية في أنها غير قابلة

¹- Langejans, G., Aleo, A., Fajardo, S., & Kozowyk, P.: *Archaeological Adhesives*. In Oxford Research Encyclopedia of Anthropology, (2022), p 1,12,13.

²- Elie-Lefebvre, D., Hartmann, D., *Balcar, N.: L'envers de la marqueterie Boulle analyse des matériaux de collage*. Dassas, F., Thomas, C., (eds.), *Technè 49-2020*, "Le mobilier Boulle", (2020), p 164: 168.

³- Langejans, G., Aleo, A., Fajardo, S., & Kozowyk, P.: *Archaeological Adhesives*, (2022), p 1.

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كمواسق للماركتري في الأثاث الخشبي

للتحلل، هذا إلى جانب كونها مواد ناتجة عن أصول غير متجددة والذي يستدعي البحث عن مصادر صديقة للبيئة ومتجددة.⁴

لذلك تعتبر المواد اللاصقة الطبيعية هي البديل المناسب لكونها مصدرا متجددا أكثر صداقة للبيئة. مما حدا بالباحثين ودفعهم لدراستها وتقييم كفاءتها للمساهمة في توسيع قاعدة انتشارها كمواد لاصقة بديلة صديقة للبيئة مكافئة للمواد الصناعية،^{5،6} على سبيل المثال البروتينات الحيوانية مثل الجيلاتين الحيواني وغراء جلد الأرنب، والنباتية مثل بروتين فول الصويا المعزول وبروتين بذرة القطن المعزول.

غالباً ما توجد مشكلات تتعلق بنبات المواد اللاصقة الطبيعية في البيئات الرطبة بالإضافة إلى الرطوبة الناتجة عن استخدامها التقليدي. لذا قد يؤدي ضعف مقاومة الرطوبة والماء التي تتصف به أغلب المواد اللاصقة الطبيعية إلى الإضرار بالخصائص الفيزيائية والميكانيكية لمكونات التطعيم بأسلوب الماركتري، مما يقلل من القوة الميكانيكية والمتانة للعمل الفني. لذلك يعد تحسين خصائص المادة اللاصقة ومقاومة الماء الأولية الرئيسية للبحث في مجال المواد اللاصقة الحيوية.⁷

وقد زاد الاهتمام بالمواد المشتقة من الموارد المتجددة خلال السنوات القليلة الماضية وخضعت مجموعة واحدة منها لكمية كبيرة من الأبحاث ألا وهي البروتينات لما للبروتينات من تاريخ طويل كمواد لاصقة لتطبيقات الأخشاب.⁸ لذلك سيكون من الضروري تسويق فكرة أن تكون اللواصق الطبيعية مكافئة للمواد اللاصقة الاصطناعية الموجودة.

تعتبر عمليات الغمر الساخن* من الإختبارات المتبعة لتحديد مدى كفاءة هذه اللواصق للاستخدام والتطبيق الفعلي لترميم وتثبيت القشرة على الأثاث الخشبي المطعم بأسلوب الماركتري أحد أهم الإختبارات التي يتم تطبيقها على اللواصق. على الرغم من أن الأثاث الخشبي المطعم بأسلوب الماركتري مخصص للاستخدام الداخلي في المقام الأول، إلا أنه من المفيد اختبار مقاومة الخشب للماء. ففي الواقع، تعتبر مقاومة الماء مؤشراً على متانة المادة اللاصقة وهو أمر مهم لجميع المنتجات الخشبية.

⁴- Tian, H., Guo, G., Fu, X., Yao, Y., Yuan, L., & Xiang, A.: *Fabrication, properties and applications of soy-protein-based materials: A review. International Journal of Biological Macromolecules*, 120, (2018), p 475.

⁵- Khosravi, S., Nordqvist, P., Khabbaz, F., Öhman, C., Bjurhager, I., & Johansson, M.: *Wetting and film formation of wheat gluten dispersions applied to wood substrates as particle board adhesives*, p 476.

⁶- Umemura, K.: *Research Trends of Natural Adhesives. Mokuzai Gakkaishi*, 60(3), (2014), p 133.

⁷- Gonçalves, D.; Bordado, J.M.; Marques, A.C.; Galhano dos Santos, R.: *Non-Formaldehyde, Bio-Based Adhesives for Use in Wood-Based Panel Manufacturing Industry—A Review. Polymers*, 13, 4086, (2021), p 2.

⁸- Khosravi, S., Nordqvist, P., Khabbaz, F., Öhman, C., Bjurhager, I., & Johansson, M.: *Wetting and film formation of wheat gluten dispersions applied to wood substrates as particle board adhesives*, p 476.

* في بعض الأوراق البحثية تقرر قياس القوة الرطبة فقط، أو قياس قوة الغمر فقط، أو كلاهما. يمكن إختيار أي من الطريقتين بناء على أهداف الدراسة التجريبيه.

فالماء مهم في الحفاظ على التركيب ثلاثي الأبعاد للبروتينات، ويؤثر على خصائصها الفيزيائية والكيميائية والوظيفية وسلوكها أثناء وبعد عملية اللصق. وقد قدم الباحثون العديد من الدراسات حول التفاعلات بين البروتين والماء والتي قدمت لنا كثيراً من المعلومات الإيضاحية في فهم مشاركة الماء في بنية البروتين، والاستقرار، والديناميكيات، والوظيفة. فمع زيادة محتوى الماء، تتفاعل المزيد من جزيئات الماء مع البروتين لتشكيل غلاف ترطيب، وتغيير الحركة الجزيئية في البروتينات، فيعتبر الماء مادة مُلدنة رئيسية للبروتينات.⁹

وفقاً للمعيار الأمريكي أو - المواصفات القياسية الأمريكية - للخشب الصلب والخشب الرقائقي المزخرف - 2004 (ANSI / HPVA HP-1-2004)، فإن المطلب الوحيد للخشب الرقائقي الداخلي هو اجتياز اختبار النقع. حيث ينتفخ الخشب عندما يبتل ويتقلص عندما يجف. حيث يؤدي التورم والانكماش أثناء دورات النقع/التجفيف إلى حدوث ضغط كبير على طول خط الغراء بين قشرتين متجاورتين في عينات الخشب الرقائقي.

ويجب أن تكون المادة اللاصقة الفعالة مقاومة للماء نفسها، أي لا تتحلل أثناء دورات النقع/التجفيف، ويجب أن تكون الرابطة اللاصقة قوية ومرنة بما يكفي لتحمل الإجهاد. خلاف ذلك، فإن عينات الخشب الرقائقي سوف تنفصل.¹⁰ وتعتبر قوة اللصق ومقاومة الماء عاملين أساسيين في تقييم أداء وقوة المادة اللاصقة. هنا قوة اللاصق تكون معروفة أو مقررّة كقوة القص عند كسر الرابطة في كل العينات الخشبية. تقاس مقاومة المادة اللاصقة للماء بواسطة التغير في قوة القص أو الانفصال للروابط في العينات الخشبية بعد النقع في المياه.¹¹

ولإضافة وظائف غير موجودة في المواد اللاصقة الاصطناعية. تحقيقاً لهذه الغاية، فمن الضروري مراجعة التقنيات الحالية وتطويرها بأفكار جديدة. حيث يعد تطوير المواد اللاصقة باستخدام الموارد المتجددة أمراً ضرورياً، ومن المتوقع إجراء المزيد والمزيد من الأبحاث المؤثرة.¹²

فيجب أن تكون المواد اللاصقة المستخدمة للصلق القشرة الخشبية ذات طبيعة خاصة بحيث تكون سهلة الاستخدام والانتشار والتغلغل داخل مسام الخشب، ويجب ألا تنقل بقع غير مرغوب فيها إلى القشرة، ولا يجب أن تفقد أيًا من قوة الترابط مع تقدم العمر، وفي بعض الحالات من الضروري أن تكون شديدة المقاومة للماء.¹³ حيث تتأثر السلامة الهيكلية لمكونات الأخشاب المصوقة بشكل كبير بسلوك المواد اللاصقة المستخدمة لذا يجب أن تتمتع المواد اللاصقة بقوة ومتانة موثوقين بحيث تظل تعمل بكامل طاقتها في ظل الاستخدام المقصود أو المراد منها.¹⁴

⁹- Sun. X.S.: "10 Soy Protein Adhesives", in Wool. R. P., Sun. X.S., *Bio-Based Polymers and Composites*, Elsevier Science & Technology Books, (2005), p 269.

¹⁰- Jang, Y., & Li, K.: *An All-Natural Adhesive for Bonding Wood*. Journal of the American Oil Chemists' Society, 92(3), (2015), p 434.

¹¹- He, Z., & Chapital, D. C.: *Preparation and Testing of Plant Seed Meal-based Wood Adhesives*. Journal of Visualized Experiments, (97), (2015), p1.

¹²- Umemura, K.: *Research Trends of Natural Adhesives*. Mokuzai Gakkaishi, 60(3), (2014), p 133.

¹³- Harrar, E. S.: *Veneers and plywood—their manufacture and use*. Economic Botany, 1(3), (1947), p 303.

¹⁴- Klippel, M., & Frangi, A.: *Einfluss des Klebstoffes auf das Brandverhalten von Brettschichtholz*. Bauphysik, 34(4), (2012), p 142.

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كلواصق للماركتري في الأثاث الخشبي

الدراسة التجريبية

المواد والخامات

- بروتين بذرة القطن المعزول تم الحصول عليه بنفس الطريقة المستخدمة طبقاً للمراجع^{15,16,17} حيث تم الاستخلاص من كسبة بذور القطن والتي تم توفيرها من الشركة الوطنية للأعلاف والزيوت والصابون (محمد صلاح وشركاه) - بكوم أو شيم - طامية - الفيوم - مصر، وقد تم تحضير البروتين بالاستعانة بمعامل قسم الأغذية الخاصة بالمركز القومي للبحوث الزراعية - الجيزة - مصر.
- أما بروتين فول الصويا المعزول فقد تم الحصول عليه من شركة lushprotein pte. Ltd/22 Sin Ming lane/#06-76 Midview city/Singapore 573969*
- الجيلاتين الحيواني تم الحصول عليه من السوق المحلي المصري (أماكن بيع القشرة الخشبية ومستلزماتها).
- غراء جلد الأرنب تم الحصول عليه من شركة "كريمير Kremer" ألمانيا*
- أما القشرة الخشبية فتم الحصول عليها من خلال متاجر بيع القشرة الخشبية في السوق المحلي المصري، وقد تم استخدام قشرة خشب الماهوجني *Khaya spp. Mahogany* ومتوسط كثافته 0,63 جم/سم³،¹⁸ وكان سبب اختيار قشرة خشب الماهوجني لتمييزه بكثافته المتوسطة.

تحضير القشرة الخشبية وتقطيعها

قص القشرة الخشبية التي تم الحصول عليها من مصدر متاح تجارياً إلى شرائح بعرض 25.4 مم وطول 88.9 مم، وكان سمكها (0.52 مم). وضع خط بالقلم الرصاص عمودي على ألياف الخشب بطول 25.4 مم (1.0") من طرف واحد من كل شريط، مع ترقيم هذه الشرائح بشكل مناسب باستخدام معاملات الاختبار أو الأرقام، حيث تم استخدام ست أزواج من القشرة الخشبية لعمل ثلاث عينات لكل نوع من اللواصق.

تحضير أو إعداد المواد اللاصقة (لواصق البروتينات النباتية المعزولة والجيلاتينات الحيوانية)

تم استخدام الماء المقطر (الخالي من الأملاح والمعادن) كوسط للإذابة،¹⁹ بالنسبة للبروتينات الحيوانية فقد تم نفع كمية الغراء المطلوبة حسب التركيزات التالية: 20٪ للجيلاتين الحيواني، 7٪ لجيلاتين جلد الأرنب. (هذه من التركيزات الشائع استخدامها للصق القشرة الخشبية وتم تحديدها بناءً على التجارب والإختبارات التمهيدية لإختيار

¹⁵- Cheng, H. N., Dowd, M. K., & He, Z.: *Investigation of modified cottonseed protein adhesives for wood composites*. Industrial Crops and Products, 46, (2013), p 399, 400.

¹⁶- Ma, M., Ren, Y., Xie, W., Zhou, D., Tang, S., Kuang, M., ... Du, S.: *Physicochemical and functional properties of protein isolate obtained from cottonseed meal*. Food Chemistry, 240, (2018), p 857.

¹⁷- Brandenburg, A. H., Weller, C. L., & Testin, R. F.: *Edible Films and Coatings from Soy Protein*. Journal of Food Science, 58(5), (1993), p 1086.

* <https://www.lushprotein.com>

* <https://www.kremer-pigmente.com/en/>

¹⁸- Hoadley, R. B. *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology* Taunton press. (2000), p 70.

¹⁹- Cheng, H. N., Ford, C., Dowd, M. K., He, Z.: *Soy and cottonseed protein blends as wood adhesives*. Industrial Crops and Products. Volume 85, (2016), p 325.

التركيز الذي يعطى أفضل قوة للصق في حالة القشرة الخشبية المستخدمه في الجانب التجريبي، حيث أن مسامية و كثافة الخشب يلعبان دورا في تحديد التركيز). تم تسخين الغراء من خلال حمام مائي حتى تمام الذوبان لتكون جاهزة للتطبيق،²⁰ بالنسبة للبروتينات النباتية تم إضافة مسحوق البروتين أثناء التقليب عند درجة حرارة الغرفة بتركيز 7٪ لبروتين فول الصويا المعزول، و10٪ لبروتين بذرة القطن المعزول وتم تقليب المحلول عن طريق المحرك المغناطيسي لمدة ساعتين في ورق محكم الغلق.^{21،22،23} و الجدير بالإشارة أن إختلاف تركيزها ولزوجتها قد يؤدي إلى تصرف البروتينات (الواصلق) بشكل مختلف أثناء التجفيف وإعادة الترطيب، مما قد يؤثر على خصائص الالتصاق.^{24،25}

إعداد عينات الخشب المصوقة

- تم استخدام الطريقة المقترحة من قبل (He & Chapital)²⁶ مع التعديل البسيط:
1. تم تطبيق المادة اللاصقة بالفرشاة على طرف كلا من شريطي القشرة الخشبية بحيث تغطي 25.4 مم (1.0") في الاتجاه الطولي. وتترك في الهواء من 10-15 دقيقة أو حتى تكون لزجة.
 2. تم تطبيق طبقة ثانية من اللاصق بالفرشاة أعلى الطبقة الأولى وتجفيفها بالهواء مرة أخرى.
 3. تم تراكب الجزئين المغطين باللاصق (25.4 مم × 25.4 مم أو 1.0" × 1.0") في كل طرف من أطراف القشرة الخشبية علي بعضها البعض. وتم الضغط باستخدام القمط، مع ملاحظة أن يكون الضغط موزعا على المنطقة المتراكبة من عينات الخشب. يمكن تغيير معاملات الترابط هذه حسب الحاجة لكل متغير اختبار.
 4. تهيئة العينات الخشبية المصوقة لمدة 48 ساعة في غرفة تكييف أو حاضنة مع التحكم في الرطوبة (درجة الحرارة 22 - 23 °م والرطوبة النسبية 50 - 60٪).
 5. تم استخدام البوليمرات اللاصقة المجهزة (سالفة الذكر).

تجارب مقاومة المتراكبات الخشبية المصوقة للماء Water resistance of the wood composites

- تُغمر مجموعة من عينات القشرة الخشبية المصوقة، بعد التهيئة الأولية، في حمام مائي عند 63 °م لمدة 4 ساعات.

20- Selbo, M. L.: *Adhesive bonding of wood*. U.S. Department of Agriculture-Forest Service., Technical Bulletin No. 1512, Government Printing Office, Washington, (1975), p 27,28.

21- Nordqvist, P., Nordgren, N., Khabbaz, F., & Malmström, E.: *Plant proteins as wood adhesives: Bonding performance at the macro- and nanoscale. Industrial Crops and Products*, 44, (2013), p 247.

22- Cheng, H. N., Ford, C., Dowd, M. K., He, Z.: *Soy and cottonseed protein blends as wood adhesives*, p 325

23- He, Z., & Chapital, D. C.: *Preparation and Testing of Plant Seed Meal-based Wood Adhesives*, p 2.

24- Nordqvist, P., Thedjil, D., Khosravi, S., Lawther, M., Malmström, E., & Khabbaz, F.: *Wheat gluten fractions as wood adhesives-glutenins versus gliadins*. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(3), (2011), p 1535.

25- Ghahri, S.; Pizzi, A.; Hajihassani, R.: A Study of Concept to Prepare Totally Biosourced Wood Adhesives from Only Soy Protein and Tannin. *Polymers*, 14, 1150, (2022), p3.

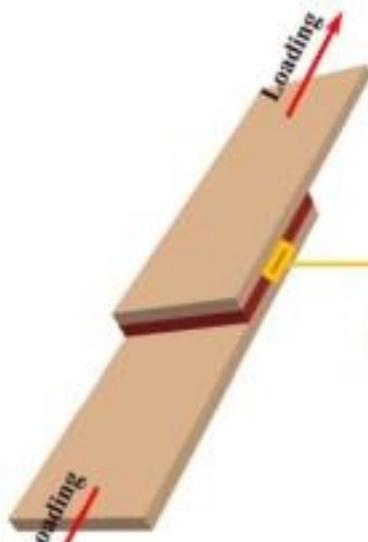
26- He, Z., & Chapital, D. C.: *Preparation and Testing of Plant Seed Meal-based Wood Adhesives*, p 2.

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كمواسق للماركتري في الأثاث الخشبي

- ثم تجفف في ظروف الغرفة (درجة الحرارة 22-23 °م والرطوبة النسبية 50-60 %) خلال مدة زمنية من (18-20 ساعة).
- كررت دورة الغمر مرة أخرى.
- ثم تم التجفيف في نفس ظروف التجفيف السابقة، مع وقت تجفيف 48 ساعة.
- ثم إختبار العينات المجففة بعد ذلك لقياس قوة القص عند الكسر وتم تسجيلها كقوة لاصقة منقوعة (مغمورة في الماء الساخن).²⁷

قياس قوة اللصق

- تم قياس قوة اللصق بإختبار "زويك" للشد (Zwick stress tester, Zwick Z010, load cell 1kN, Tensile, Germany) (بشعبة متروlogيا الكيمياء معمل متروlogيا وتكنولوجيا البوليمرات - معهد القياس والمعايرة - الجيزة - مصر).
- سرعة الشد 1 مم / دقيقة.
 - تم تحديد قوة الرباط (اللسق) كحد أقصى لقوة الشد (MPa) وأقصى استطالة عند الكسر (%).
 - تم اختبار شرائط القشرة الخشبية الملسوقة شكل (1)، بواقع ثلاثة من الشرائط لكل مادة لاصقة، حيث تم إختبار ثلاثة قبل الغمر في الماء الساخن وإختبار ثلاثة بعد الغمر في الماء الساخن.²⁸



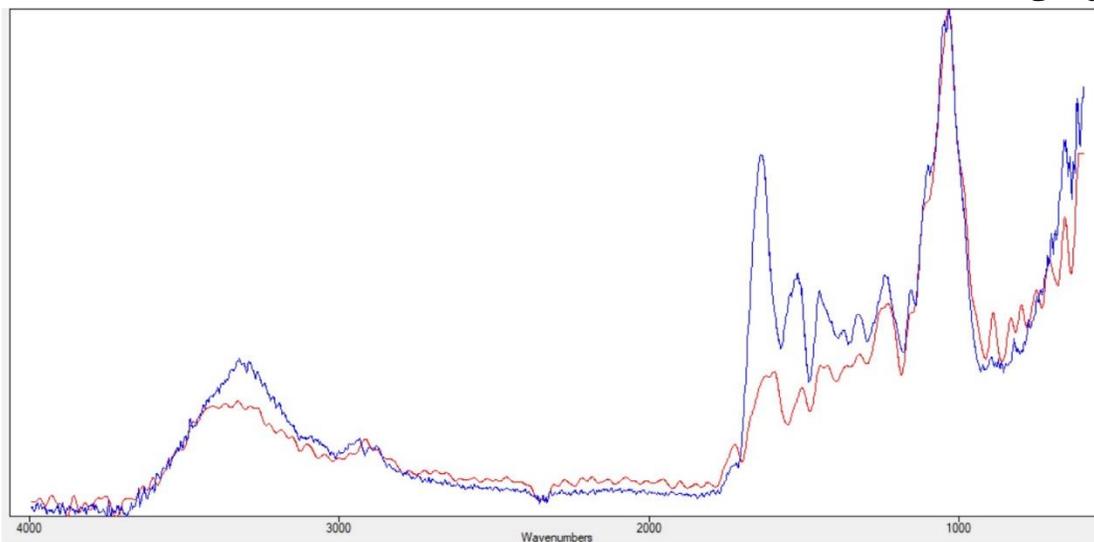
شكل (1) يوضح شرائط القشرة الخشبية الملسوقة واتجاه الشد أثناء اختبارها. عن:

Jin, S., et al: *Multiple crosslinking strategy to achieve high bonding strength and antibacterial properties of double-network soy adhesive*. Journal of Cleaner Production, 120-143, (2020), P 103.

²⁷- He, Z., & Chapital, D. C.: *Preparation and Testing of Plant Seed Meal-based Wood Adhesives*, p2.

²⁸- Cheng, H. N., Ford, C., Dowd, M. K., He, Z.: *Soy and cottonseed protein blends as wood adhesives*. Industrial Crops and Products. Volume 85, (2016), p 325.

تم تحليل العينات على جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR (LUMOS, Bruker, USA) بشعبة متروlogيا الكيمياء معمل متروlogيا وتكنولوجيا البوليمرات - معهد القياس والمعايرة - الجيزة - مصر. وتم التحليل الطيفي بطريقة ATR للمادة اللاصقة قبل وبعد دورتي الغمر في الماء الساخن ومقارنة النتائج لدراسة تأثير الغمر الساخن على اللواصق المستخدمة.



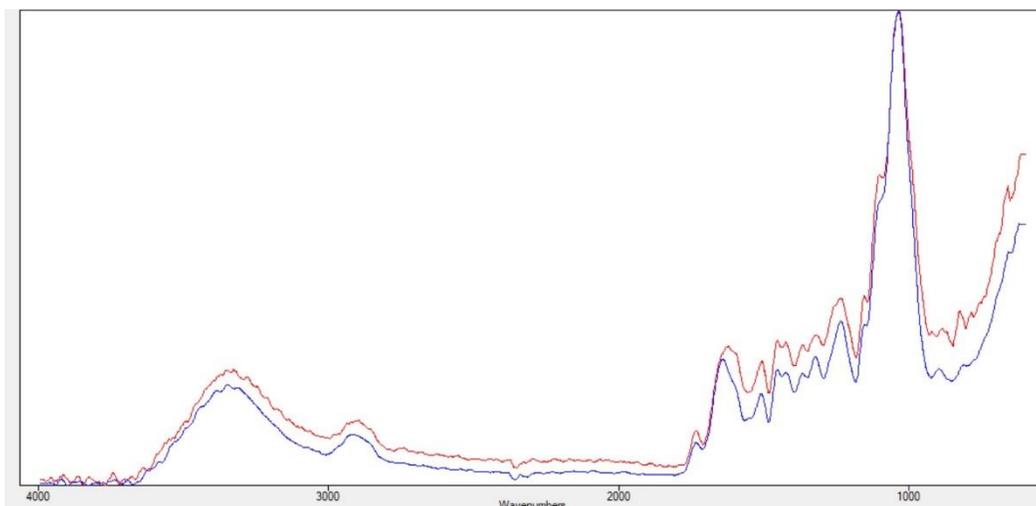
شكل (2) نتائج الـ ATR لغراء الجيلاتين الحيواني على سطح القشرة الخشبية المصققة، قبل وبعد الغمر في الماء الساخن، يمثل اللون الأزرق نتائج تحليل العينة قبل الغمر واللون الأحمر بعد الغمر في الماء الساخن.

جدول (1) يوضح المجموعات الوظيفية للجيلاتين الحيواني قبل وبعد الغمر في الماء الساخن

التغير	بعد الغمر في الماء الساخن	قبل الغمر في الماء الساخن	المجموعات الوظيفية
نقص واضح في شدة الطيف	3323 سم ⁻¹ ضعيف	3323 سم ⁻¹ متوسط	OH+N-H stretching band
	2916 سم ⁻¹ ضعيف جداً	2935 سم ⁻¹ ضعيف	C-H stretching bands
	1625 سم ⁻¹ ضعيف ومتسع	1635 سم ⁻¹ قوي جداً ومتسع	C=O stretching band
	1511 سم ⁻¹ ضعيف جداً ومتسع	1521 سم ⁻¹ قوي ومتسع	C-N stretching + N-H bending
	1454 سم ⁻¹ ضعيف جداً ومتسع	1451 سم ⁻¹ قوي ومتسع	C-H bending bands
	1034 سم ⁻¹ قوي ومتسع	1040 سم ⁻¹ قوي جداً ومتسع	CN+C-O stretching band

يتضح من التحليل السابق حدوث نقص شديد في شدة الأطياف الرئيسية للعينة وتحديدًا منطقة أميد 1 و أميد 2 حيث ناتج قسمة اميد 1 على اميد 2 قبل الغمر هو 1,129 وبعد الغمر 1,006، مما يدل على تأثر الغراء الحيواني بسهولة بالماء الساخن نتيجة فقد في المحتوى البروتيني أدى إلى زيادة التريتيت العشوائي على حساب الترتيب المنتظم، أي أن هذه المادة غير مقاومة لاختبار الغمر بالماء الساخن. وتبدأ في عملية فقد ترابط المجموعات الوظيفية (الذوبان السريع).

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كمواسق للماركتري في الأثاث الخشبي



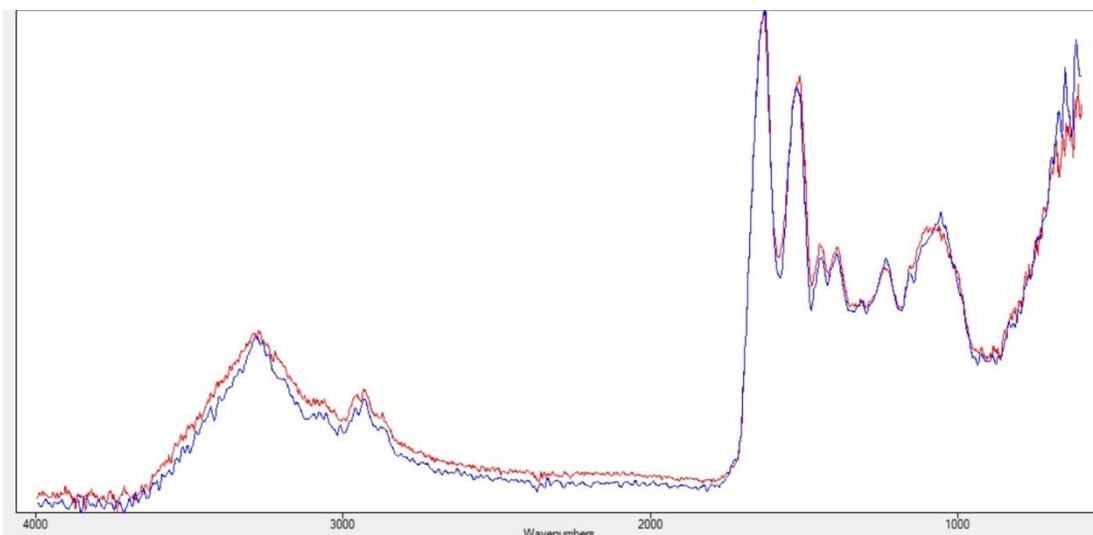
شكل (3) نتائج الـ ATR لـ جيلتين جلد الأرنب على سطح القشرة الخشبية المصققة، قبل وبعد الغمر في الماء الساخن، يمثل اللون الأزرق نتائج تحليل العينة قبل الغمر واللون الأحمر بعد الغمر في الماء الساخن.

جدول (2) يوضح المجموعات الوظيفية لجيلتين جلد الأرنب قبل وبعد الغمر في الماء الساخن

التغير	بعد الغمر في الماء الساخن	قبل الغمر في الماء الساخن	المجموعات الوظيفية
نقص طفيف في شدة الطيف	3592	3583	OH+N-H stretching band.
	ضعيف	متوسط	
	2902	2915	C-H stretching bands
	قوي ومتسع	قوي ومتسع	
	1735	1735	C=O stretching band
	1625	1646	C=O stretching band
	ضعيف ومتسع	قوي ومتسع	
	1505	1510	C-N stretching + N-H bending
	1454	1454	C-H bending bands
نقص واضح في شدة الطيف	1033	1037	CN+C-O stretching band

يتضح من التحليل السابق حدوث تغيرات طفيفة في المجموعات الوظيفية الرئيسية لغراء جلد الأرنب بعد عمليات الغمر، حيث حدث نقص في شدة طيف المجموعات الوظيفية وبدل على ذلك ناتج قسمة اميد 1 على اميد 2 قبل الغمر هو 1,060 وبعد الغمر 1,017 مما يدل على تأثر الغراء الحيواني بسهولة بالماء الساخن نتيجة فقد في المحتوى البروتيني الذي أدى إلى زيادة الترتيب العشوائي على حساب الترتيب المنتظم، في حين حدث نقص متوسط في طيف مد C-O عند منطقة الامتصاص (1033-1037)، وبدل ذلك على أن غراء جلد الأرنب يتأثر بالماء الساخن وتبدأ

عمليات فقد الترابط بمكونات المادة بعد الغمر بالماء (يتضح ذلك من نقص جميع أطيف المجموعات الوظيفية) حيث يحدث لها عمليات ذوبان بشكل أبطأ من الجيلاتين الحيواني السابق.



شكل (4) نتائج الـ ATR لبروتين فول الصويا المعزول على سطح القشرة الخشبية المصقفة، قبل وبعد الغمر في الماء الساخن، يمثل اللون الأزرق نتائج تحليل العينة قبل الغمر واللون الأحمر بعد الغمر في الماء الساخن.

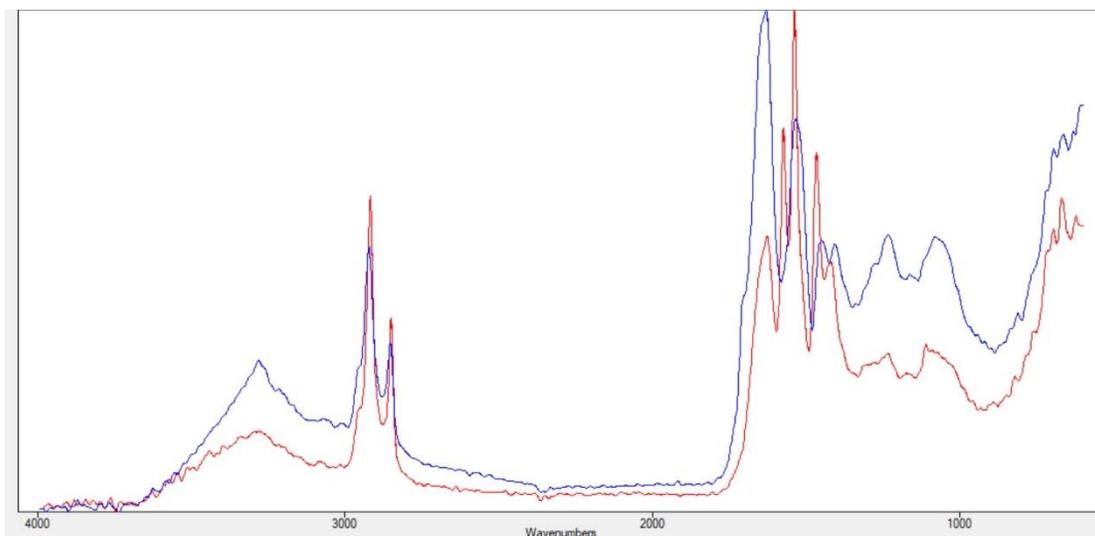
جدول (3) يوضح المجموعات الوظيفية لبروتين فول الصويا المعزول قبل وبعد الغمر في الماء الساخن

التغيير	بعد الغمر في الماء الساخن	قبل الغمر في الماء الساخن	المجموعات الوظيفية
حدوث زيادة طفيفة في شدة الطيف	3270 سم ⁻¹ ضعيف	3284 سم ⁻¹ ضعيف	OH+N-H stretching band.
	2932 سم ⁻¹ ضعيف جداً	2979 سم ⁻¹ ضعيف	C-H stretching bands. الاميد المميز للبروتين
	1631 سم ⁻¹ قوي ومتسع	1628 سم ⁻¹ قوي ومتسع	C=O stretching
لم يتغير	1518 سم ⁻¹ قوي ومتسع	1527 سم ⁻¹ قوي ومتسع	C-N stretching + N-H bending
	1454	1454	C-H bending bands.
حدوث زيادة طفيفة في شدة الطيف	1391 سم ⁻¹ قوي حاد	1391 سم ⁻¹ قوي حاد	CN+C-O stretching

يتضح من التحليل السابق حدوث تغيرات طفيفة جداً للمجموعات الوظيفية للمادة اللاصقة حيث حدثت زيادة متوسطة في طيف مد مجموعة الهيدروكسيل، نتيجة زيادة المحتوى المائي في العينة نتيجة الغمر في الماء الساخن، يتبع هذه الزيادة زيادة في بعض المجموعات المتعلقة بمجموعة زيادة الماء والهيدروكسيل، حيث حدثت زيادة للشدة في منطقتي أميد 1 و أميد 2 حيث أن ناتج قسمة أميد 1 على أميد 2 قبل الغمر هو 1,056 وبعد الغمر 1,060 مما يدل

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كمواسق للماركتري في الأثاث الخشبي

على وجود تحلل مائي بسيط جداً، بالإضافة إلى زيادة مد C-O وهي مرتبطة بالزيادة في مجموعة الهيدروكسيل OH. و يدل ذلك علي كفاءة المادة في مقاومة الغمر بالماء الساخن.



شكل (5) نتائج الـ ATR لبروتين بذرة القطن المعزول على سطح القشرة الخشبية الملتصقة، قبل وبعد الغمر في الماء الساخن، يمثل اللون الأزرق نتائج تحليل العينة قبل الغمر واللون الأحمر بعد الغمر في الماء الساخن.

جدول (4) يوضح المجموعات الوظيفية لبروتين بذرة القطن المعزول قبل وبعد الغمر في الماء الساخن

التغير	بعد الغمر في الماء الساخن	قبل الغمر في الماء الساخن	المجموعات الوظيفية
زيادة طفيفة في طيف المد	3344 سم ⁻¹ متسع جداً وضعيف	3281 سم ⁻¹ قوي ومتسع	OH+N-H stretching band.
زيادة واضحة في طيف المد	2853 سم ⁻¹ ضعيف جداً ومتسع	2856 سم ⁻¹ قوي	C-H stretching bands.
	1641 سم ⁻¹ ضعيف ومتسع	1632 سم ⁻¹ قوي	C=O stretching band
	1519 سم ⁻¹ ضعيف ومتسع	1534 سم ⁻¹ قوي	C-N stretching + N-H bending
	1452 سم ⁻¹ ضعيف ومتسع	1452 سم ⁻¹ ضعيف	C-H bending bands.
	1065 سم ⁻¹ قوي ومتسع	1065 سم ⁻¹ قوي ومتسع	CN+C-O stretching band

حدث تغيرات واضحة في طيف مد المجموعات الأساسية لبروتين بذرة القطن المعزول، حيث حدثت زيادة واضحة في كل المجموعات الوظيفية نتيجة الغمر بالماء الساخن، وحدث نقص فقط في شدة طيف الأמיד 1 وزيادة في أמיד 2

وكان ناتج قسمة اميد 1 على اميد 2 قبل الغمر هو 1,116 وبعد الغمر 0,756. مما يدل على أن المادة اللاصقة مقاومة جزئياً للغمر بالماء الساخن.

النتائج:

تم استخدام عدة طرق للاختبارات والفحوص، تجمع بين الملاحظات البصرية بالعين المجردة والمتابعة أثناء دورات الغمر في الماء الساخن والتجفيف لتحديد العينات المنفصلة وملاحظة بقايا اللاصق في العينات المنفصلة وشكل الترابط للعينات التي لم تنفصل بعد الغمر، ثم قياسات قوة الشد باستخدام جهاز اختبار الإجهاد لقياس القوى القصوى للشد والتشوه على شرائح القشرة الخشبية الملتصقة لتقييم القوة الرابطة ومقاومة الماء.

اتضح من خلال الملاحظات البصرية انفصال اثنين من أصل ثلاث من العينات الملتصقة بالجيلاتين الحيواني وذلك بعد حوالي سبع دقائق من بداية الغمر ثم انفصال العينة الثالثة بعد حوالي ساعة وخمس وثلاثين دقيقة من بداية الغمر، أما جيلاتين جلد الأرنب فقد انفصلت واحدة من أصل ثلاث عينات بعد حوالي عشر دقائق من بداية الغمر ثم انفصلتا الأثنين الآخرين بعد حوالي أربع عشرة دقيقة من بداية الغمر، مع ملاحظة أن بقايا جيلاتين جلد الأرنب على أسطح القشرات المنفصلة لم تذب بشكل كامل بعد دورتي الغمر مقارنة بجيلاتين الغراء الحيواني الذي كانت بقاياه على سطح القشرة الخشبية أقل. أما العينات الملتصقة بالبروتينات النباتية فقد اجتازت عمليات الغمر في الدورتين المحددتين طبقاً للمعايير القياسية المأخوذ بها، ويتفق هذا مع نتائج كلا من (He & Chapital)²⁹ الذي ذكر أن نتيجة اختبار قوة الشد الميكانيكي كانت 3,76 ميغا باسكال للعينات الملتصقة ببروتين بذرة القطن وبروتين فول الصويا المعزولين وذلك بعد الغمر في الماء حيث فشلت القشرة الخشبية وليس منطقة الاتصال، هذا يدل على أن المادة اللاصقة أقوى من شرائح الخشب الرقيقة و (Cheng وآخرون)³⁰ الذي لاحظ ن بروتين بذرة القطن المعزول يمتلك خصائص لاصقة قوية ومقاومة للماء الساخن، كما خلصت النتائج التي توصل إليها كلاً من (Lorenz وآخرون)³¹ و (He وآخرون)³² إلى أن تنقية بروتين فول الصويا عن طريق إزالة الكربوهيدرات والمكونات الأخرى في دقيق فول الصويا للحصول على محتوى بروتين $< 95\%$ (بروتين فول الصويا المعزول) أعطى قوة لصق أفضل. وتظهر قياسات قوة القص والشد والتحليل الطيفي بواسطة جهاز طيف الأشعة تحت الحمراء FTIR شكل (2، 3، 4، 5) نفس الاتجاه مما يدل على أن خصائص الترابط للواصق البروتينات النباتية تعطي نتائج جيدة بعد الغمر في الماء الساخن.

كشفت النتائج عن اختلاف كبير في القوة الرابطة بين البروتينات النباتية والحيوانية قبل وبعد الغمر في الماء الساخن. حيث تتفوق البروتينات الحيوانية (الجيلاتين الحيواني وجيلاتين جلد الأرنب) على البروتينات النباتية (بروتين فول الصويا المعزول وبروتين بذرة القطن المعزول) في مقاومة الشد قبل التعرض للغمر في الماء الساخن، بينما انهارت وفشلت لواصق البروتينات الحيوانية اللاصقة للقشرة الخشبية أثناء الغمر في الماء الساخن وتوقفت البروتينات النباتية على البروتينات الحيوانية، خاصة فيما يتعلق بمقاومة الماء الساخن، شكل (6، 7). ويرجع السبب

²⁹ - He, Z., & Chapital, D. C.: *Preparation and Testing of Plant Seed Meal-based Wood Adhesives*, p 24.

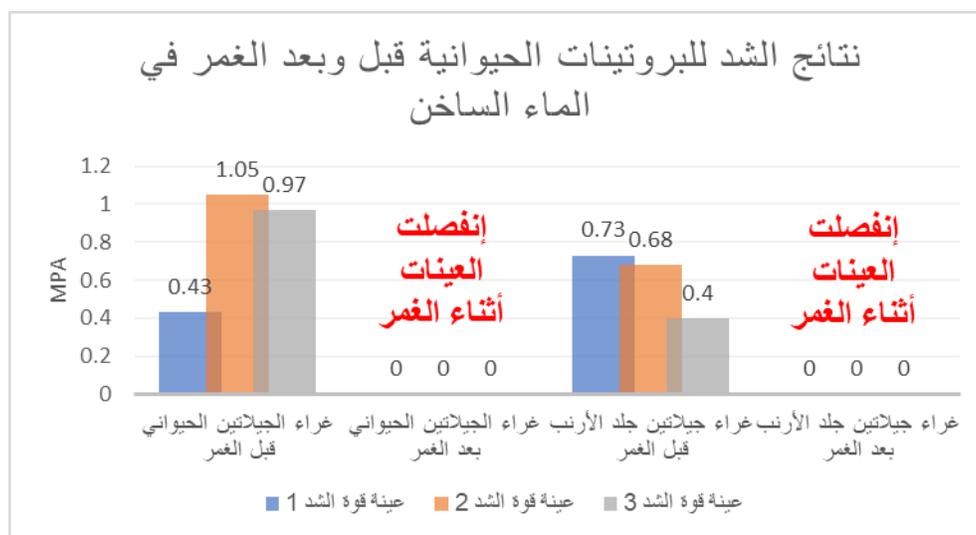
³⁰ - Cheng, H. N., Ford, C., Dowd, M. K., He, Z.: *Soy and cottonseed protein blends as wood adhesives*. Industrial Crops and Products. Volume 85, (2016), p 329.

³¹ - Lorenz, L., Birkeland, M., Daurio, C., & Frihart, C.: Soy flour adhesive strength compared to that of purified soy proteins. *Forest Products J.*, 65, (2015), p 29.

³² - He, Z., C. Chapital, D., & N. Cheng, H.: Comparison of the Adhesive Performances of Soy Meal, Water Washed Meal Fractions, and Protein Isolates. *Modern Applied Science*, 10(5), (2016), p 116.

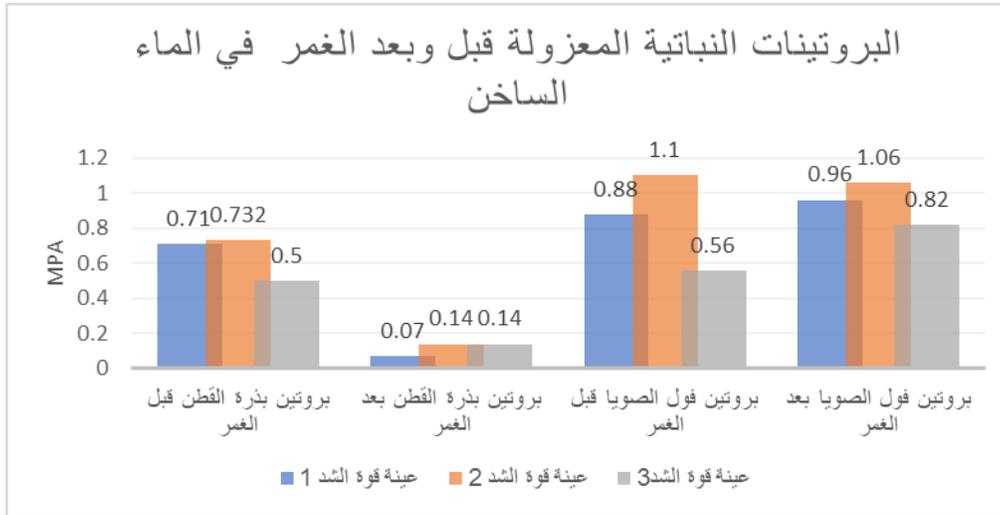
دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كلواصق للماركتري في الأثاث الخشبي

في ذلك إلى اختلاف الأحماض الأمينية المكونة للبروتينات (الحيوانية والنباتية) بسبب مجموعاتها الجانبية المتنوعة. فتكوين الأحماض الأمينية وتسلسلها (ترتيب الاتصال) وطول السلسلة الجزيئية من المتغيرات الرئيسية التي تحدد الهياكل الأولية والثانوية والثلاثية والرابعة للبروتين؛ كما أنها تحدد درجة التفاعل الكارهة للماء، واللزوجة، والتوتر السطحي، والسلوكيات المعتمدة على الأس الهيدروجيني، وبالتالي تؤثر على جميع التفاعلات وفي النهاية الأداء اللاصق.³³



شكل (6) يوضح قيم الشد الميكانيكي قبل وبعد الغمر في الماء الساخن للعينات المصنوعة باستخدام لوصق البروتينات الحيوانية، وملاحظة تحطم العينات (أثناء الشد الميكانيكي) خارج منطقة الاتصال المصنقة ولم تنفصل مناطق الاتصال مما يدل على أن قدرة تحمل اللاصق للشد الميكانيكي الواقع عليه أكبر من قدرة تحمل القشرة الخشبية وبالتالي نجاح قوة اللاصق. أما أثناء الغمر في الماء الساخن فقد انفصلت جميع العينات المصنوعة باستخدام البروتينات الحيوانية مما يدل على فشل لوصق البروتينات الحيوانية في مقاومة تأثير الغمر في الماء الساخن.

³³ - Sun. X.S.: "10 Soy Protein Adhesives", in Wool. R. P., Sun. X.S., *Bio-Based Polymers and Composites*, Elsevier Science & Technology Books, (2005), p 331-332.



شكل (7) يوضح قيم الشد الميكانيكي قبل وبعد الغمر في الماء الساخن للعينات المصنوعة باستخدام لواصل البروتينات النباتية المعزولة، مع ملاحظة تحطم العينات قبل الغمر خارج مناطق الاتصال المصنوعة إلا بنسبة ضئيلة في عينة واحدة ملصقة ببروتين بذرة القطن مما يدل على أن قدرة تحمل اللاصق للشد الميكانيكي الواقع عليه أكبر من قدرة تحمل القشرة الخشبية وبالتالي نجاح قوة اللاصق، أما بعد دورتي الغمر والتجفيف تلاحظ أثناء اختبار الشد الميكانيكي تحطم عينات بروتين فول الصويا المعزول خارج منطقة الاتصال المصنوعة أما بروتين بذرة القطن فقد كان الانفصال في مناطق الاتصال مما يدل على تأثرها بدورات الغمر الساخن، مع ملاحظة مقاومة تأثير الغمر الساخن للبروتينات النباتية واجتياز دورتي الغمر الساخن دون انفصال.

الاستنتاجات

من خلال النتائج يمكن التنبؤ بالظروف البيئية التي قد تفشل فيها أنواع اللواصل الطبيعية المختارة وقد تساعد في اختيار أنسب مادة لاصقة، من وجهة نظر ميكانيكية لتطبيقات معينة. تُظهر بوضوح نتائج قياسات مقاومة الشد لعينات القشرة الخشبية قبل وبعد الغمر في الماء الساخن، أن هناك فرقاً في قوة مقاومة الشد ومقاومة الماء بين اللواصل الأربعة، الشكلان (6،7)، يوضحان نتائج مقاومة الشد للقشرة الخشبية قبل التعرض للغمر في الماء الساخن ومقارنتها بالقشرة المغمورة التي اجتازت الاختبار وفقاً لمعايير المواصفة القياسية (ASTM D1151-00 (2013) مع التعديل البسيط كما جاء في (He & Chapital)³⁴، حيث أظهرت النتائج أن القشرة الخشبية التي تم لصقها ببروتين فول الصويا المعزول أو التي تم لصقها ببروتين بذرة القطن المعزول تفوقاً في اجتياز مقاومة الغمر في الماء الساخن طبقاً للمعايير المحددة، بينما انهارت وفشلت لواصل القشرة الخشبية في جميع العينات المصنوعة بلاصق الجيلاتين الحيواني وكذلك جيلاتين جلد الأرنب.

التوصيات:

1- أظهرت النتائج أن لواصل البروتينات النباتية تعطي نتائج جيدة بعد الغمر في الماء الساخن، لذا يجب على صانعي المقتنيات الأثرية والتاريخية المطعمة بأسلوب الماركترى الاهتمام البحثي بلواصل البروتينات النباتية وتحسين خصائصها لتكون أكثر فاعلية من اللواصل التركيبية، من حيث خصائصها الميكانيكية ومناقتها على المدى الطويل.

³⁴- He, Z., & Chapital, D. C.: *Preparation and Testing of Plant Seed Meal-based Wood Adhesives*, p 2.

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كمواد لاصق للماركتري في الأثاث الخشبي

- 2- يوحي مستقبلًا أن يتم التوسع البحثي في دراسات اللواصق الحيوية بصفة عامة لجعلها أكثر فاعلية من اللواصق التركيبية، من حيث خصائصها الميكانيكية ومثانتها على المدى الطويل.
- 3- تحسين الخصائص الميكانيكية من خلال التعديل باستخدام أساليب المزج للبوليمرات الحيوية الحيوانية والنباتية المتنوعة، للاستفادة من الخصائص المميزة لكل نوع، حيث إنه للحصول على أداء لاصق عالي للمواد القائمة على البروتينات النباتية أو الحيوانية فمن بين الأساليب المختلفة أثبتت الطرق الفيزيائية مثل المزج مع البوليمرات الأخرى.
- 4- تعزيز طرق المزج للبوليمرات الحيوية بالجسيمات النانوية، أو استخدام البوليمرات الحيوية النانوية، حيث أن لها مزايا خاصة لسهولة التحضير وتحسين خصائص الالتصاق.
- 5- استبدال المونومرات المشتقة من المصادر البتروكيماوية بالبوليمرات الحيوية مثل البروتينات، مع تطوير مواد جديدة ذات خصائص محسنة، لما لذلك أهمية متزايدة في ترميم المقتنيات الأثرية والتاريخية المطعمة بأسلوب الماركتري.

▪ قائمة المراجع:

- Brandenburg, A. H., Weller, C. L., & Testin, R. F.: Edible Films and Coatings from Soy Protein. *Journal of Food Science*, 58(5), (1993), pp.1086–1089. doi:10.1111/j.1365-2621.1993.tb06120.
- Cheng, H. N., Dowd, M. K., & He, Z.: Investigation of modified cottonseed protein adhesives for wood composites. *Industrial Crops and Products*, 46, (2013), pp.399–403. doi:10.1016/j.indcrop.2013.02.021
- Cheng, H. N., Ford, C., Dowd, M. K., He, Z.: Soy and cottonseed protein blends as wood adhesives. *Industrial Crops and Products*. Volume 85, (2016), pp.324-330. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.024>
- Elie-Lefebvre, D., Hartmann, D., Balcar, N.: L'envers de la marqueterie Boulle: analyse des matériaux de collage. *Dassas, F., Thomas, C., (eds.), Technè 49-2020, "Le mobilier Boulle"*, (2020), pp.164-117. DOI: [10.4000/techne.5027](https://doi.org/10.4000/techne.5027)
- Elie-Lefebvre, D.: Élaboration d'une nouvelle colle de poisson, Artcolle®. *Dassas, F., Thomas, C., (eds.), Technè 49-2020, "Le mobilier Boulle"* (2020), pp.164-171. DOI : [10.4000/techne.5027](https://doi.org/10.4000/techne.5027)
- Ghahri, S.; Pizzi, A.; Hajihassani, R. A Study of Concept to Prepare Totally Biosourced Wood Adhesives from Only Soy Protein and Tannin. *Polymers*, 14, 1150, (2022), p.1-10. doi.org/10.3390/polym14061150
- Gonçalves, D.; Bordado, J.M.; Marques, A.C.; Galhano dos Santos, R.: Non-Formaldehyde, Bio-Based Adhesives for Use in Wood-Based Panel Manufacturing Industry—A Review. *Polymers*, 13, 4086, (2021), pp.1-31. DOI: [10.3390/polym13234086](https://doi.org/10.3390/polym13234086)

- Harrar, E. S.: Veneers and plywood—their manufacture and use. *Economic Botany*, 1(3), (1947), 290–305. [doi:10.1007/bf02858574](https://doi.org/10.1007/bf02858574)
- He, Z., & Chapital, D. C.: Preparation and Testing of Plant Seed Meal-based Wood Adhesives. *Journal of Visualized Experiments*, (97), (2015), pp.1-6. [doi:10.3791/52557](https://doi.org/10.3791/52557)
- He, Z., C. Chapital, D., & N. Cheng, H.: Comparison of the Adhesive Performances of Soy Meal, Water Washed Meal Fractions, and Protein Isolates. *Modern Applied Science*, 10(5), (2016), pp.112-120. [doi:10.5539/mas.v10n5p112](https://doi.org/10.5539/mas.v10n5p112)
- Hoadley, R. B. *Understanding wood: a craftsman's guide to wood technology*. Taunton press. (2000).
- Jang, Y., & Li, K.: An All-Natural Adhesive for Bonding Wood. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 92(3), (2015), pp.431–438. [doi:10.1007/s11746-015-2610-y](https://doi.org/10.1007/s11746-015-2610-y)
- Jin, S., Li, K., Gao, Q., Zhang, W., Chen, H., Li, J., & Shi, S. Q.: Multiple crosslinking strategy to achieve high bonding strength and antibacterial properties of double-network soy adhesive. *Journal of Cleaner Production*, 120-143, (2020), pp. 1-13. [doi:10.1016/j.jclepro.2020.120143](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120143)
- Khosravi, S., Nordqvist, P., Khabbaz, F., Öhman, C., Bjurhager, I., & Johansson, M.: Wetting and film formation of wheat gluten dispersions applied to wood substrates as particle board adhesives. *European Polymer Journal*, 67, (2015), pp. 476–482. [doi:10.1016/j.eurpolymj.2014.11.034](https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.11.034)
- Klippel, M., & Frangi, A.: Einfluss des Klebstoffes auf das Brandverhalten von Brettschichtholz. *Bauphysik*, 34(4), (2012), pp.142–152. [doi:10.1002/bapi.201200018](https://doi.org/10.1002/bapi.201200018)
- Langejans, G., Aleo, A., Fajardo, S., & Kozowyk, P.: Archaeological Adhesives. *In Oxford Research Encyclopedia of Anthropology*, (2022), pp.1-39. [doi:10.1093/acrefore/9780190854584.013.198](https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190854584.013.198)
- Lorenz, L., Birkeland, M., Daurio, C., & Frihart, C.: Soy flour adhesive strength compared to that of purified soy proteins. *Forest Products J.*, 65, (2015), pp.26-30. [http://dx.doi.org/ 10.13073/FPJ-D-13-00020](http://dx.doi.org/10.13073/FPJ-D-13-00020)
- Ma, M., Ren, Y., Xie, W., Zhou, D., Tang, S., Kuang, M., ... Du, S.: Physicochemical and functional properties of protein isolate obtained from cottonseed meal. *Food Chemistry*, 240, (2018), pp.856–862. [doi:10.1016/j.foodchem.2017.08.030](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.030)
- Nordqvist, P., Nordgren, N., Khabbaz, F., & Malmström, E.: Plant proteins as wood adhesives: Bonding performance at the macro- and nanoscale. *Industrial Crops and Products*, 44, (2013), pp.246–252. [doi:10.1016/j.indcrop.2012.11.021](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.021)

دراسة مقارنة لتقييم تأثير الغمر بالماء الساخن على بعض اللواصق الحيوية من البروتينات الحيوانية والنباتية المستخدمة كلواصق للماركتري في الأثاث الخشبي

- Nordqvist, P., Thedjil, D., Khosravi, S., Lawther, M., Malmström, E., & Khabbaz, F.: Wheat gluten fractions as wood adhesives-glutenins versus gliadins. *Journal of Applied Polymer Science*, 123(3), (2011), 1530–1538. doi:10.1002/app.34312
- Selbo, M. L.: *Adhesive bonding of wood*. U.S. Department of Agriculture-Forest Service., Technical Bulletin No. 1512, Government Printing Office, Washington, (1975), pp.1:124.
- Sun. X.S.: "10 Soy Protein Adhesives", in Wool. R. P., Sun. X.S., *Bio-Based Polymers and Composites*, Elsevier Science & Technology Books, (2005), pp.327-368.
- Umemura, K.: Research Trends of Natural Adhesives. *Mokuzai Gakkaishi*, 60(3), (2014), pp.123–143. doi:10.2488/jwrs.60.123