

تأثير المعالجة الكيماوية لنفايات الخشب على الخواص الميكانيكية للمادة

المركبة (بولي استر-نشارة خشب)

(مدرس مساعد) ذوالفقار كريم الابراهيمي

جامعة بابل / كلية هندسة المواد

قسم هندسة المواد اللامعنوية

الخلاصة :

تعتمد الخواص الميكانيكية للمواد المركبة المقواة على مقاومة الربط بين التقويات والارضية . يتم تحسين مقاومة الربط بالمعاملة السطحية (Surface treatment) اوبالاكساء (Sizing) . حيث تم في البحث الحالي معالجة كيميائية لنشارة الخشب باستخدام محاليل (H_2O , $NaOH$, $NaCl$) لزيادة خشونة السطحية لسطح النشارة وبالتالي زيادة التلاصق بين النشارة والارضية . اجريت مجموعة من الاختبارات لدراسة تأثير المعالجة الكيماوية على الخواص الميكانيكية (انحناء وانضغاط) للمادة المركبة ذات اساس من البولي استر غير المشبع المقواة ب(10 % wt.) نشارة خشب معالجة . كذلك تم حساب الفقدان بالوزن واجراء تصوير مجهري .

اظهرت نتائج الاختبارات ارتفاع مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة بنسبة اقصاها (228 %) عند المعالجة ب(H_2O) مقطر ولمدة (2 day) ، ارتفاع مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة بنسبة اقصاها (40 %) عند المعالجة ب ($10\% NaCl+90\%H_2O$) ولمدة (8 day) ، ارتفاع مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة بنسبة اقصاها (177 %) عند المعالجة ب($10\% NaOH+90\%H_2O$) ولمدة (4 day). كما اظهرت نتائج الاختبارات ارتفاع مقاومة الانضغاط لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة بنسبة اقصاها (18 %) عند المعالجة ب(H_2O) مقطر ولمدة (4 day) ، ارتفاع مقاومة الانضغاط لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة بنسبة اقصاها (10 %) عند المعالجة ب (10% $NaCl+90\%H_2O$) ولمدة (8 day) ، في حين انخفضت مقاومة الانضغاط لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة بنسبة اقصاها (25 %) عند المعالجة ب (10% $NaOH+90\%H_2O$) ولمدة (8 day) . كذلك اظهرت النتائج ارتفاع نسبة الفقدان بالوزن لنشارة الخشب المعالجة ب($NaOH$) اكثر من النشارة المعالجة ب(H_2O , $NaCl$) .

الكلمات الرئيسية : الخشونة السطحية ، المعالجة السطحية ، نشارة الخشب ، اختبار الانحناء ، اختبار الانضغاط والمواد المركبة .

The Effects of Chemical Treatment of Wood Cinder on the Mechanical Properties of the Composite Materials(Polyester-Wood Excelsior)

Abstract :

The Mechanical properties of reinforced composite materials depend on bonding strength between reinforcements and matrix , improving the bonding strength can be achieved by surface treatment or sizing . In this investigation chemical treatment for wood excelsior carried out by using (H₂O , NaCl , NaOH) solution to increase the surface roughness for excelsior surface . Group of tests was carried out to study the effect of this treatment on the mechanical (bending and compression) properties of a material composed of unsaturated polyester reinforced by (10 % wt) of treated wood excelsior . Also Calculation of the weight loss and executing of microscopic photo .

The results show :

- Increase of the bending strength of treated wood excelsior reinforced composite materials with a maximum percentage of (228 %) compared with samples reinforced with untreated excelsior . This maximum percentage was found when the excelsior are treated at room temperature for (H₂O) and (2 day) .
- Increase of the bending strength of treated wood excelsior reinforced composite materials with a maximum percentage of (40 %) compared with samples reinforced with untreated excelsior , this maximum percentage was found when the excelsior are treated at room temperature for (10 % NaCl+90%H₂O) and (8 day) .
- Increase of the bending strength of treated wood excelsior reinforced composite materials with a maximum percentage of (177 %) compared with samples reinforced with untreated excelsior , this maximum percentage was found when the excelsior are treated at room temperature for (10 % NaOH+90%H₂O) and (4 day) .
- Increase of the compression strength of treated wood excelsior reinforced composite materials with a maximum percentage of (18 %) compared with samples reinforced with untreated excelsior , this maximum percentage was found when the excelsior are treated at room temperature for (H₂O) and (4 day) .
- Increase of the compression strength of treated wood excelsior reinforced composite materials with a maximum percentage of (10 %) compared with samples reinforced with untreated excelsior , this maximum percentage was found when the excelsior are treated at room temperature for (10 % NaCl+90%H₂O) and (8 day) .
- decrease of the compression strength of treated wood excelsior reinforced composite materials with a minimum percentage of (25 %) compared with samples reinforced with untreated excelsior , this minimum percentage was found when the excelsior are treated at room temperature for (10 % NaOH+90%H₂O) and (8 day) .
- Increase of the weight loss to treated wood excelsior with (NaOH) more than weight loss of treated wood excelsior with (NaCl , H₂O) .

Key Word : surface roughness , surface treatment , wood excelsior , bending test , compression test and composite materials .

المقدمة :

في السنوات الاخيرة كثر استخدام المواد المركبة ذات اساس بوليمري مقواة بالخشب (الياف ، دقائق او اشكال اخرى) بشكل واسع في الصناعة ، ان سبب استخدام نشارة الخشب كتقوية بشكل واسع يعود لانخفاض الكلفة وسهولة الحصول عليها [1,2] .

ان المحدد الرئيسي لاستخدام الياف ونشارة الخشب كتقويات لفقر التلاصق البيئي بين الهيدروفيلك القطبي (Polor-Hydrophilic) لنشارة الخشب والهيدروفلوبك غير القطبي (Non Polor-Hyrophobic) للبوليمرات . لذا يتم تحسين الربط بين التقويات والبوليمرات بعدة طرق منها الاكساء (Sizing) بمواد منها عامل الربط (Coupling Agent) ، كشمع البرافين (Wax) او بمواد اخرى لتغطية سطح الالياف لتقليل طاقة السطح وزيادة التلاصق بين الالياف والمادة الاساس وبالتالي تحسين الخواص الميكانيكية . كذلك تستخدم المعالجة الكيماوية (Chemical Treatment) للالياف لزيادة الخشونة السطحية وهذا يؤدي الى زيادة المساحة السطحية واحداث ربط تشابكي بيني ميكانيكي بين الالياف والارضية وبالتالي تحسين الربط بين التقويات والارضية [3,4] .

في عام (2001) اجريت معالجة لسطح الياف الخشب باستخدام البلازما (Plasma) لتحسين الربط بين الالياف والارضية حيث اظهرت النتائج زيادة مقاومة الربط البيئي للعينات المقواة بالياف خشب معالجة بالمقارنة مع العينات المقواة بالياف غير معالجة [3] . وفي نفس العام اجريت معالجة كيميائية لالياف الخشب باستخدام (Glycerol) و (Maleic Acid) حيث اظهرت النتائج زيادة مقاومة الشد لعينات المواد المركبة المقواة بالياف خشب معالجة بالمقارنة مع العينات المقواة بالياف غير معالجة [3]. في عام (2002) اجريت معالجة كيميائية لسطح دقائق الخشب ولسطح الياف الخشب باستخدام (MAPP) (Maleic Anhydride grafted Polypropylene) حيث اظهرت النتائج ارتفاع مقاومة الشد والانحناء لعينات المواد المركبة ذات اساس بولي بروبيلين مقواة بدقائق خشب معالجة بالمقارنة مع العينات المقواة بدقائق غير معالجة [5] . في عام (2006) اجريت معالجة كيميائية لسطح دقائق الخشب باستخدام (NaOH) و (ClCH₂COOH) ولمدة (48 hr) حيث اظهرت النتائج ارتفاع مقاومة الشد والصدم لعينات المواد المركبة ذات اساس بولي بروبيلين مقواة بدقائق خشب معالجة بالمقارنة مع العينات المقواة بدقائق غير معالجة [1] .

اما البحث الحالي فيهدف الى استخدام نفايات الخشب لتقوية البولي استر وانتاج مواد مركبة ذات خواص جيدة لكن فقر التلاصق البيئي بين الخشب والبولي استر كان عائقاً

للحصول على خواص ميكانيكية جيدة لذا تم اجراء معالجة كيميائية لنشارة الخشب باستخدام (H₂O , NaCl and NaOH) ودراسة تأثير المعالجة الكيماوية لسطح النشارة على الخواص الميكانيكية للمادة المركبة المقواة بتلك التقويات . اما العوامل التي شملتها الدراسة فهي نوع محلول المعالجة وفترة المعالجة .

الجانب العملي:

المعالجة الكيماوية (Chemical Treatment)

تم استخدام ثلاث محاليل لمعالجة نشارة الخشب وهي (H₂O) مقطر ، (10%wt. NaCl+90% H₂O) و (10%wt. NaOH+90% H₂O) وتجري المعالجة في درجة حرارة الغرفة ولفترات (2 , 4 , 6 and 8 day) .

تمت المعالجة بوضع (100 g) من نشارة الخشب في عبوات بلاستيكية ومن ثم يضاف (1 L) من محلول المعالجة بعد ذلك تترك النشارة في المحلول حسب فترة المعالجة ، بعدها يتم اخراج النشارة ويفرغ المحلول ويستبدل بماء مقطر وتترك النشارة مغمورة لمدة ساعة بعدها تستخرج وتجفف في فرن لمدة (24 hr) وبدرجة حرارة (110 °C) بعدها تهيب النشارة لتصنيع عينات المواد المركبة حسب نوع الاختبار . شكل (1) يوضح نشارة خشب .

اختبار الفقدان بالوزن (Weight Loss Test)

تم وزن (10 g) من نشارة الخشب ويجرى عليها نفس خطوات المعالجة الكيماوية التي ذكرناها سابقاً ، بعدها يتم وزن النشارة وحساب الفرق بالوزن قبل وبعد المعالجة . يتم حساب نسبة الفقدان بالوزن على أساس المعادلة التالية :

$$W \% = \frac{W_0 - W_1}{W_0} * 100 \quad (1)$$

حيث :

- W₀ = وزن عينة الألياف قبل المعاملة (g) .
- W₁ = وزن عينة الألياف بعد المعاملة (g) .
- W % = النسبة المئوية للفقدان بالوزن .

اختبار الانحناء للمواد المركبة (Bending Test of Composite Materials)

تم تحضير عينات اختبار الانحناء بالابعاد (8 × 15 × 160 mm) باعتماد (ASTM D790) [7,6] . لتصنيع عينات اختبار انحناء المواد المركبة ذات اساس

من البولي استر غير المشبع مقواة بنشارة الخشب المعالجة حيث اختيرت نسبة نشارة (10%) لان افضل خواص تم الحصول عليها عند هذه النسبة ، تم ذلك بخلط (10%wt) من نشارة الخشب مع (90%wt.) من البولي استر خلط جيد بعدها اضيف المصلد ومن ثم خلطت وبعدها تم صب الخليط في تجويف قالب عينة الانحناء ، حيث يستخدم قالب معدني لهذا الغرض . تم قياس مقاومة الانحناء بطريقة اختبار الانحناء ثلاثي النقاط (Three – Points Bending Test) وفي درجة حرارة الغرفة . حيث تم تسليط الحمل الى حين حدوث الفشل واخذ معدل قراء تين لكل نقطة . شكل (2) عينات الانحناء للمواد المركبة المقواة بنشارة خشب (a) قبل الاختبار (b) بعد الاختبار . اما مقاومة الانحناء (Bending Strength) للعينة فقد تم تحديدها باعتماد المعادلة التالية [8] :

$$BS = 3PL / 2Wt^2 \quad (2)$$

حيث ان :

BS = مقاومة الانحناء (MPa) ، P = الحمل المسلط (N) ، L = طول العينة (mm) ،
W = عرض العينة (mm) ، t = سمك العينة (mm) .

- اختبار الانضغاط للمواد المركبة

(Compression Test of Composite Materials)

تم تحضير عينات اختبار الانضغاط بالابعاد (12.7Ø × 25.4 mm) باعتماد (ASTM D695) او (ISO 604) [9] . وتصنع عينات اختبار الانضغاط بنفس طريقة تصنيع عينات الانحناء لكن القالب المستخدم ليس معدني وانما من البلاستيك . تم قياس مقاومة الانضغاط في درجة حرارة الغرفة . حيث تم تسليط الحمل الى حين حدوث الفشل واخذ معدل قراءتين لكل نقطة . شكل (3) عينات الانضغاط للمواد المركبة المقواة بنشارة خشب (a) قبل الاختبار (b) بعد الاختبار . اما مقاومة الانضغاط للعينة فقد تم تحديدها باعتماد المعادلة التالية [9] :

$$CS = P / A \quad (3)$$

حيث ان :

CS = مقاومة الانضغاط (MPa) ، P = الحمل المسلط (N) ، A = مساحة المقطع العرضي (mm²) .

(Microscopic Photo)**- التصوير المجهرى**

اخذت عينات من المواد المركبة ذات اساس من البولي استر مقواة بنشارة خشب غير معالجة واخرى معالجة ب(H₂O , NaCl , NaOH) وتم اجراء عمليات انهاء للسطح ومن ثم وضعت تحت المجهر الضوئي ، التكبير المستخدم (X 150) . كما ان المجهر مزود بألة تصوير وجهاز حاسوب حيث يتم تسجيل الصور لسطح المادة المركبة .

النتائج والمناقشة :**Results of Weight)****- نتائج اختبار فقدان الوزن****(Loss Test**

يوضح الشكل (4) نتائج المعالجة بمحلول (H₂O ,10% NaCl+90%H₂O ,10%) (NaOH+90%H₂O) لنشارة الخشب . أجريت المعالجات في درجة حرارة الغرفة لفترات زمنية مختلفة هي (2 , 4 , 6 and 8 day) لكل محلول ، يلاحظ من نتائج الاختبار ما يلي :

- حدوث فقدان بوزن نشارة الخشب المعالجة بمحاليل (H₂O ,10% NaCl ,10% NaOH) وتكون نسبة الفقدان بالوزن للنشارة المعالجة بـ (10% NaOH+90%H₂O) أكثر من نسبة الفقدان بالوزن للنشارة المعالجة بـ (10% NaCl+90%H₂O) او المعالجة بـ (H₂O) لان محلول (NaOH) سبب تحفيراً لسطح النشارة اكثر من (H₂O) او (NaCl) لان الماء يعمل على تأين كامل لهيدروكسيد الصوديوم مما يؤدي إلى مهاجمة سطح النشارة بشكل اقوى من المعالجة بـ (H₂O) او (NaCl) [11,10] .

- إن نسبة الفقدان بالوزن تزداد مع زيادة فترة المعالجة ، لان معدل التحفير يزداد بزيادة فترة المعالجة لذا فان أعلى نسبة للفقدان بالوزن كانت للعينات المعالجة لفترة (8 day) [12] .

- حدوث ارتفاع كبير في نسبة الفقدان بالوزن للعينات المعالجة لمدة (8 day) بفارق كبير عن تلك المعالجة لمدة (6 day) وذلك بسبب طول فترة المعالجة حدث تغلغل كبير لمحلول المعالجة داخل بنية النشارة ادى الى اضعاف مقاومة النشارة لمهاجمة المحاليل بالتالي حدث فقدان بالوزن بنسبة اكبر .

(Results of The Bending Test)**- نتائج اختبار الانحناء**

اجري اختبار الانحناء لعينات المواد المركبة ذات اساس من البولي استر غير المشبع مقواة بنشارة خشب بنسبة (10 %wt.) . يوضح الشكل (5) ارتفاع مقاومة الانحناء لعينات

المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة مقارنة بالعينات المقواة بنشارة خشب غير معالجة .
تصل مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة ب(H₂O) الى اقصى
قيمة لها وبالغة (230.88 MPa) عند المعالجة في درجة حرارة الغرفة ولمدة (2 day) .
تصل مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة ب(10% NaCl) الى
اقصى قيمة لها وبالغة (98.6 MPa) عند المعالجة في درجة حرارة الغرفة ولمدة (8 day) .
في حين تصل مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة ب(10%
NaOH) الى اقصى قيمة لها وبالغة (194.55 MPa) عند المعالجة في درجة حرارة الغرفة
ولمدة (4 day) .

ان سبب ارتفاع مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة معالجة يعود الى
ان المعالجة بالمحاليل (NaOH , NaCl , H₂O) سببت تحفيرا لسطح النشارة مما ادى الى
تكوين حفر تزيد من الخشونة السطحية للنشارة كما تزيد من المساحة السطحية لها بالتالي تزيد
من مساحة الربط بين النشارة المعالجة والبولي استر وتولد ترابط تشابكي بين النشارة والمادة
الاساس وهذا بدوره زاد من مقاومة الانحناء .

ان ارتفاع الكبير لمقاومة الانحناء للعينات المقواة بنشارة معالجة بالماء لمدة (2 day)
اعلى من المعالجة بـ (NaCl , H₂O) لان الماء يكون اقل مهاجمة للنشارة مقارنة بـ
(NaCl , H₂O) لذا تكون الحفر اقل عمق بالتالي يكون تغلغل البولي استر داخل الحفر افضل
لذا تكون المقاومة افضل .

(Results of The Compression Test)

- نتائج اختبار الانضغاط

اجري اختبار الانضغاط لعينات المواد المركبة ذات اساس من البولي استر غير المشبع
مقواة بنشارة خشب بنسبة (10 %wt.) . يوضح الشكل (6) ارتفاع مقاومة الانضغاط لعينات
المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة بـ (H₂O) او المعالجة بـ (NaCl) وانخفاضها
للعينات المواد المركبة المقواة بنشارة معالجة بـ (NaOH) مقارنة بالعينات المقواة بنشارة
خشب غير معالجة . تصل مقاومة الانضغاط لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب
معالجة ب(H₂O) الى اقصى قيمة لها وبالغة (156.67 MPa) عند المعالجة في درجة
حرارة الغرفة ولمدة (4 day) . تصل مقاومة الانضغاط لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة
خشب معالجة ب(10% NaCl+90%H₂O) الى اقصى قيمة لها وبالغة (146.23 MPa)
عند المعالجة في درجة حرارة الغرفة ولمدة (8 day) . في حين تصل مقاومة الانحناء لعينات

المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة ب(10% NaOH+90%H₂O) الى ادى قيمة لها والبالغة (99.31 MPa) عند المعالجة في درجة حرارة الغرفة ولمدة (8 day) .

ان سبب ارتفاع مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة معالجة ب(H₂O , NaCl) وانخفاضها للمعالجة ب(NaOH) يعود الى ان المعالجة بمحلول (H₂O , NaCl) كونت حفر على سطح النشارة ادت الى زيادة التلاصق بين النشارة والارضية البوليمرية ولم تؤثر سلباً على بنية نشارة الخشب مما زاد من مقاومة الانضغاط في حين المعالجة ب(NaOH) كونت حفر زادت من التلاصق لكنها ادت الى اضعاف بنية النشارة وانهيال المادة المركبة المقواة بها عند تعرضها الى حمل انضغاط .

- نتائج التصوير المجهرى (Microscopic Photo Results)

يوضح الشكل (7) صور لسطح مادة مركبة مقواة بنشارة الخشب ، حيث نلاحظ من شكل (7-a) ان عينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب غير معالجة نجد سطحها غير مستوي وغير متجانس لفقر الربط بين النشارة والارضية ، في حين شكل (7-b) نلاحظ ان سطح المادة المركبة المقواة بالنشارة والمعالجة بالماء يكون شبه مستوي او متجانس وذلك لارتفاع التلاصق بين الارضية والنشارة المعالجة . اما في شكل (7-c) و(7-d) للعينات المقواة بنشارة معالجة ب(NaCl , NaOH) نلاحظ ان سطح العينات يكون اقل استواء وتجانس من العينات المعالجة بالماء لكون هذه المحاليل اشد مهاجمة للنشارة من الماء .

-الاستنتاجات (Conclusions)

من خلال معاينة التجارب المجراة ومعاينة الفحوص الفيزيائية التي تم اجراؤها لعينات المواد المركبة يمكن استنتاج ما يلي :

- 1- ارتفاع نسبة فقدان بالوزن لنشارة الخشب المعالجة ب(NaOH) اكثر من النشارة المعالجة ب(H₂O , NaCl) .
- 2- ارتفاع نسبة فقدان بالوزن مع زيادة فترة المعالجة .
- 3- زيادة مقاومة الانحناء لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة ب(H₂O , NaOH) .
- 4- زيادة مقاومة الانضغاط لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة خشب معالجة ب(H₂O , NaCl) في حين انخفضت المقاومة لعينات المواد المركبة المقواة بنشارة المعالجة ب(NaOH) .

-التوصيات**(Recommendations)**

- 1- استبدال محاليل المعالجة بحوامض .
- 2- تغيير فترات المعالجة بفترات اقل او اكثر .
- 3- اجراء فحوصات ميكانيكية اخرى كفحص الشد والقص .



شكل (1) يوضح نشارة خشب .



(a)



(b)

شكل (2) عينات الانحناء للمواد المركبة المقواة بنشارة خشب (a) قبل الاختبار (b) بعد الاختبار .

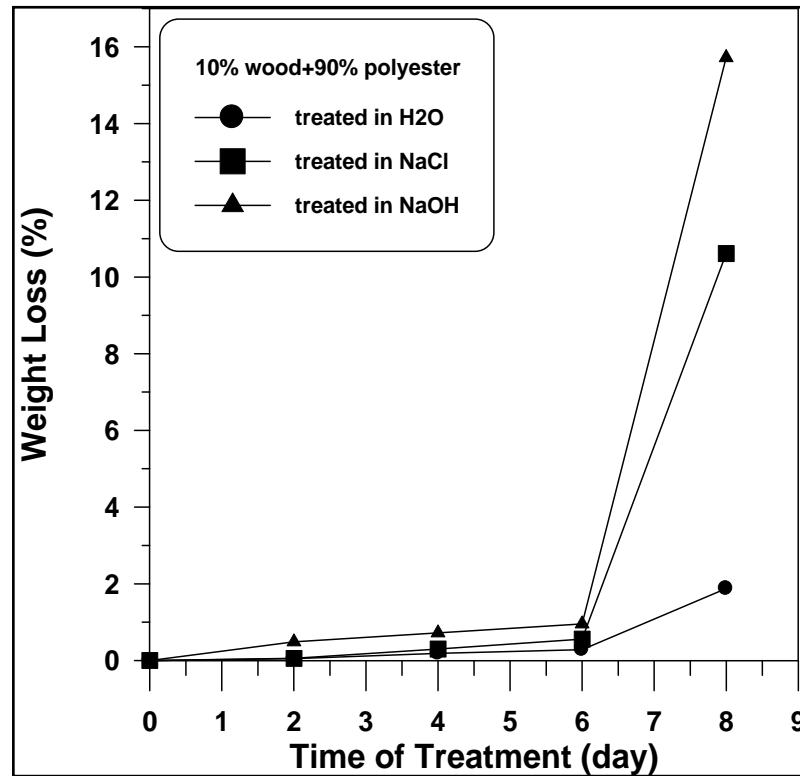


(a)

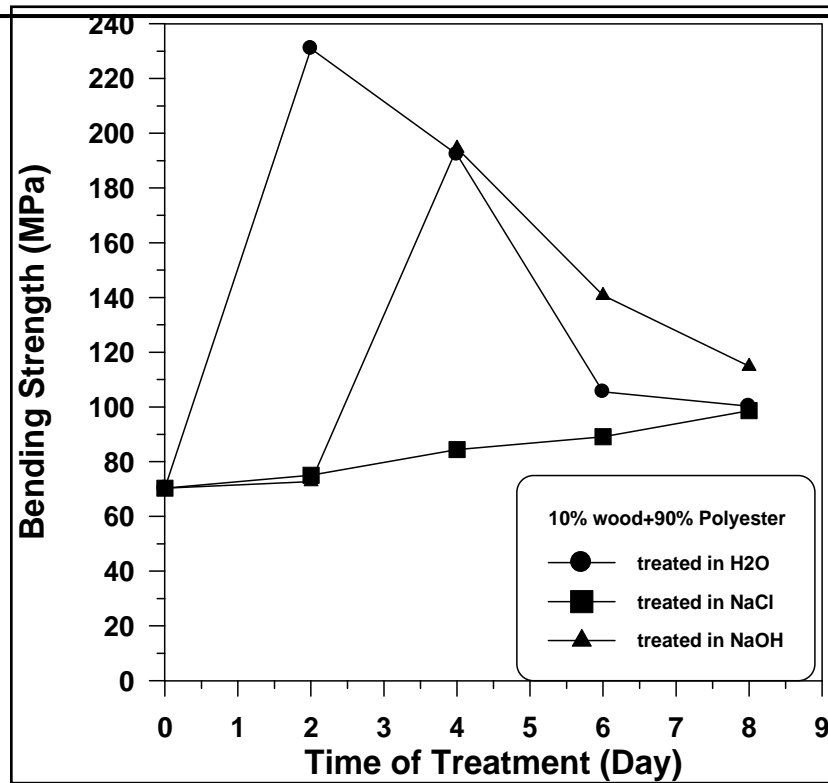


(b)

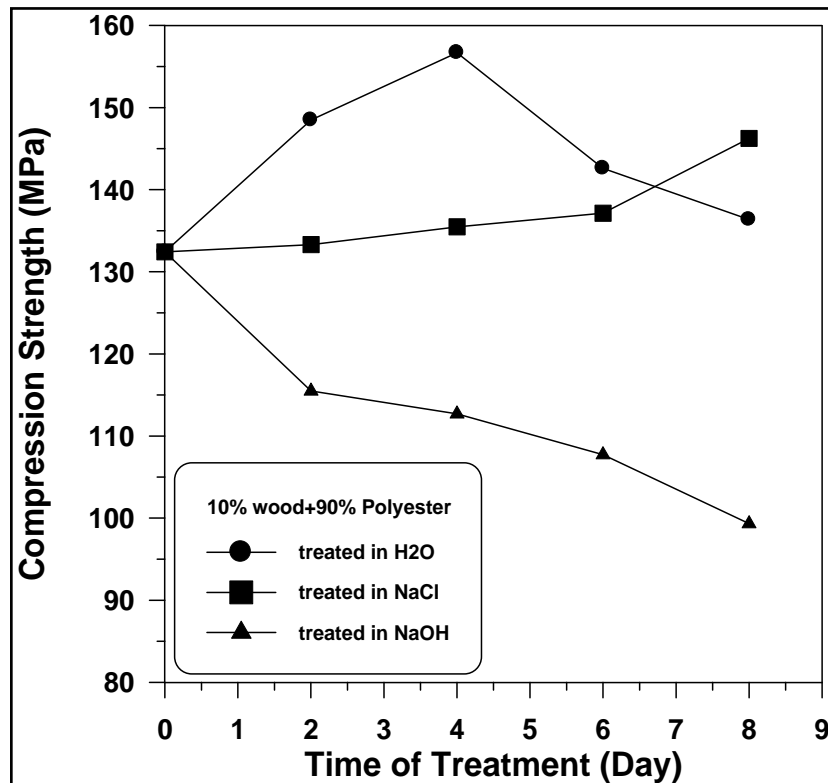
شكل (3) عينات الانضغاط للمواد المركبة المقواة بنشارة خشب (a) قبل الاختبار (b) بعد الاختبار .



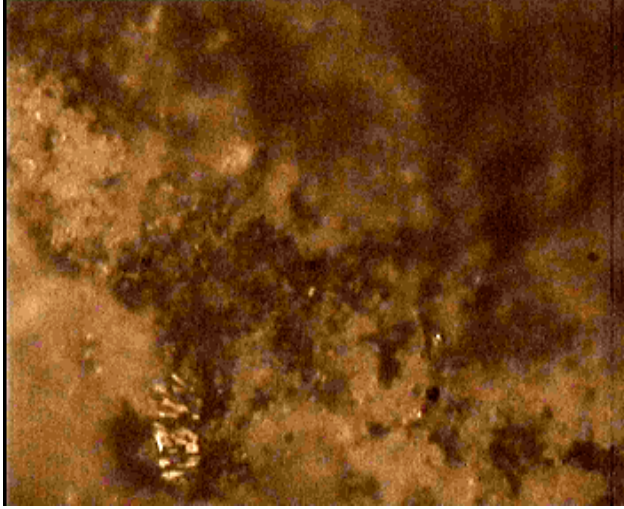
شكل (4) يوضح العلاقة بين نسبة الفقدان بالوزن وفترة المعالجة لنشارة خشب معالجة بمحاليل (H₂O , 10% NaCl , 10% NaOH) في درجة حرارة الغرفة .



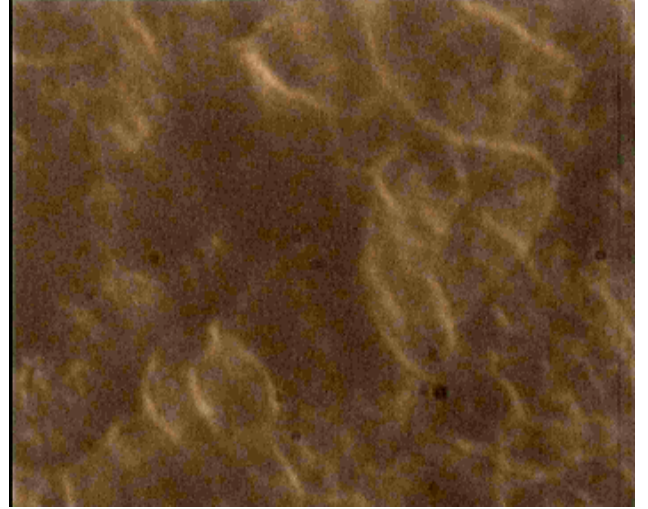
شكل (5) يوضح تأثير فترة المعالجة على مقاومة الانحناء لعينات من البولي استر غير المشبع مقواة بنشارة خشب معالجة (H₂O , 10% NaCl , 10% NaOH) في درجة حرارة الغرفة .



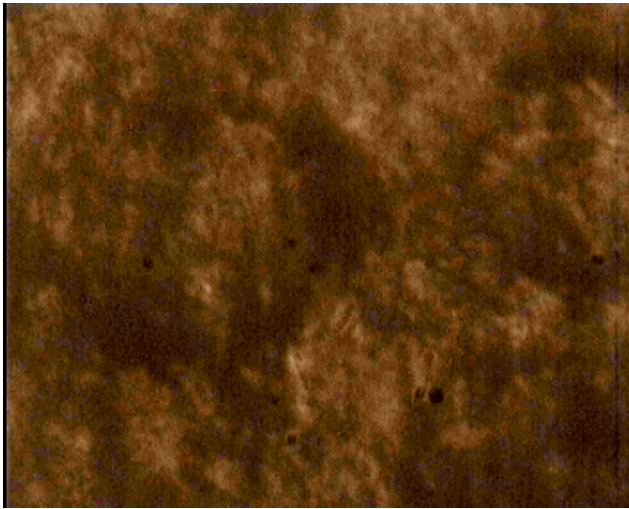
شكل (6) يوضح تأثير فترة المعالجة على مقاومة الانضغاط لعينات من البولي استر غير المشبع مقواة بنشارة خشب معالجة (H₂O , 10% NaCl , 10% NaOH) في درجة حرارة الغرفة .



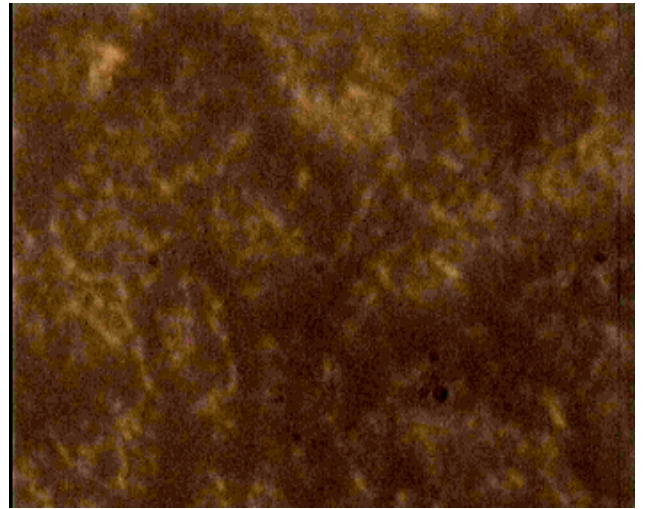
(a)



(b)



(d)



(c)

شكل (7) يوضح صور لسطح مادة مركبة ذات اساس من البولي استر مقواة بنشارة (a) غير معالجة ،
(b) معالجة ب (H₂O) ، (c) معالجة ب (10%NaCl+90%H₂O) ، (d) معالجة
ب (10%NaOH+90%H₂O) ، بقوة تكبير (X-150) .

References

المصادر :

- 1- D. Dobрева , S. Nenkova , et.al , “ Morphology and Mechanical Properties of Polypropylene – Wood Flour Composites ” , Department of Polymer Engineering , Bulgaria , (209–219), (2006) .
- 2- “ Wood – Based Composites and Panel Products ” , Chapter 10 , <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/ch10.pdf> .
- 3- Bio Graphics and Abstracts , “ 6 th International Conference on Wood Fibers – Plastic Composites ” , USA , May (2001) .
- 4- Yibin Xue , David Veazie , et.al , “ Mechanical Properties of Wood Fiber Composites under The Influence of Temperature and Humidity ” , Department of Engineering Clark Atlanta University , Georgia , 2003 .
- 5- Nicole M. Starck and Robert E. Rowlands , “Effects of Wood Fiber Characteristics on Mechanical Properties of Wood/Polypropylene Composites ” , USA , 2002 .
- 6- ASTM Standard , D 790 – 92 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials . Vol 08-01 .
- 7- “ مسودة الدليل الاسترشادي المرجعي ” ، وزارة التخطيط ، الجهاز المركزي للتقييس والسيطرة النوعية ، - جمهورية العراق ، (1992) .
- 8- K. Van Den Abeele and K. Van De Velde , “ Correlation Between Dynamic Nonlinearity and Static Mechanical Properties of Corroded E-glass Reinforced Polyester Composites ” , Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation , eds , D. O. Thompson and D. E. Chimenti , Vol. 19B , 1359 – 1366 , (1999) , pp.(1-8) .
- 9- Compressive properties , www.astm.org , www.iso.ch/iso/en .
- 10- د. حسن بن محمد الحازمي و د. محمد بن ابراهيم الحسن ، “ الكيمياء العضوية ” ، قسم الكيمياء ، كلية العلوم ، جامعة الملك سعود ، الطبعة الاولى ، (1986) ، صفحة (291 -300) .
- 11- “ Chapter 5 : Acids and Bases ” , http://alpha.chem.umb.edu/chemistry/ch130/documents/Chapter_5_Acids_Bases_Spring2005.pdf , Spring (2005) .
- 12- AGY (World Headquarters / Americas , European Office) , “ High Strength Glass Fibers ” , Technical Paper , March (2004) , pp.(1-12) .