مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(6) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (6) 2022

تأثير امتصاص الماء على الخواص الميكانيكية لمادة مركبة من البولي استر غير المشبع المدعم بألياف طبيعية.

د. رامي منصور*

د. لطيفة الحموي**

رؤيا نعمان***

(تاريخ الإيداع 12/ 2021/12 . قُبِل للنشر في 2022/6/26)

□ ملخّص□

يهدف البحث لدراسة امتصاصية وانتباجية عينات من مادة مركبة من البولي إستر غير المشبع المقوى بالألياف الطبيعية في ماء البحر والماء العذب، وتأثير الامتصاصية على الخواص الميكانيكية للمواد المركبة التي أساسها البولي إستر غير المشبع.

خلال مدة الغمر والتي بلغت (720 ساعة) في كلا الوسطين، تم اخذ قراءات دورية لوزن العينات كما تم اختبارها على الشد والانحناء عند نقاط زمنية مميزة تبعاً لمنحنيات الامتصاصية بهدف تحديد التغيرات الحاصلة في الخواص الميكانيكية عند هذه الأزمنة.

بينت نتائج مقارنة الخواص الميكانيكية (شد – انحناء) بعد الغمر بكلا الوسطين أن عينات القنب هي الأكثر احتفاظاً بخواصها، تليها عينات الليف ثم حصيرة السعف، وتبين أن مقدار التناقص في مقاومة الشد لعينة (UPR) المسلحة بست طبقات قنب لم يتجاوز(30%) في كلا الوسطين، بينما فقدت العينات المسلحة بالليف وبعدد مماثل من الطبقات ما يزيد عن(50%) من مقاومتها الميكانيكية بعد الغمر لمدة (720) ساعة، كما تناقصت مقاومة الشد للعينات المسلحة بثمان طبقات من حصيرة السعف بنسبة تزيد عن (65%) في كلا الوسطين بينما لم تتجاوز(42%) لمثيلاتها المسلحة بالقنب.

كلمات مفتاحية : ألياف طبيعية – بولي استر غير مشبع – امتصاصية – خواص ميكانيكية.

*أستاذ في قسم هندسة التصميم والإنتاج من كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين .

** أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج من كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين .

*** طالبة دكتوراه في قسم هندسة التصميم والإنتاج من كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية بجامعة تشرين .

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(6) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (6) 2022

Effect of water absorption on mechanical properties of unsaturated polyester reinforced natural fibers composites.

Dr. Rami Mansour *
Dr. Latifeh Alhamwi **
Roya Noman ***

(Received 12/12/ 2021 . Accepted 26/6/ 2022)

□ ABSTRACT □

This research aims to study the absorbency and swelling of composite material of unsaturated polyester samples reinforced with natural fibers in sea and fresh water ,and the effect of absorbency on its mechanical properties.

During the immersion period, which amounted to (720 hours) in both mediums, periodic readings of the weight of the samples were taken, and they were tested on the tensile and bending at distinct time points according to the absorbance curves in order to determine the changes in the mechanical properties at these times.

The results of comparing the mechanical properties (tensile - bending) after immersion in both media showed the hemp samples had the most retention of their properties, followed by luffa samples and then palm mat. The decrease in the tensile strength of the UPR sample reinforced with six layers of hemp did not exceed (30%) in both mediums, while the samples reinforced with luffa with a similar number of layers lost more than (50%) of their strength after immersion for (720 hours).

The tensile strength of samples reinforced with eight layers of palm mat decreased by more than (65%) in both mediums, while it did not exceed (42%) for their counterparts reinforced with hemp.

Key words: natural fibers ,unsaturated polyester, absorbency, mechanical properties.

***Professor in designing and production department; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria.**
****professor assistant in designing and production department; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria.**
*****PHD student; Faculty of Electrical & Mechanical Engineering; Tishreen University; Lattakia: Syria.**

1- مقدمة:

يتم حالياً استخدام الألياف الطبيعية كطور تقوية في المواد المركبة ذات الأساس البوليميري كبديل هام للألياف الصناعية، إذ يتم الحصول عليها من مصادر متجددة، إضافة لكثافتها المنخفضة وكلفتها الزهيدة، ورغم تنوع مصادر هذه الألياف إلا أن حساسيتها للرطوبة ماتزال عائقاً يتطلب المزيد من البحث والتقييم.

تزداد نفاذية المادة المركبة للماء بزيادة محتواها من الألياف الطبيعية نظراً لوجود الفراغات والتجاويف في مناطق ضعف الالتصاق بين البوليمر والليف، والبنية الشعرية التي تمتلكها هذه الألياف، ما يسمح للماء بإضعاف الروابط بين مادة الأساس البوليمرية والليف، وحدوث انتباج وفصل للطبقات (DAYO *et al* .,2018)، كما يتسبب امتصاص الماء في إزالة المكونات المتواجدة على سطوح الألياف مما يخلق فراغات في منطقة الارتباط بين الليف والمادة البوليمرية مؤدياً لمزيد من الانخفاض في خواصها الميكانيكية (LE DUIGOU *et al* .,2013، DHAKAL *et al.*, 2007). تكون نفاذية الماء العذب إلى المواد المركبة كبيرة، بينما نفاذية ماء البحر صغيرة وذلك بسبب تراكم جزيئات الملح على السطوح ما يمنع انتشار الماء نحو البنية الداخلية (YAN *et al* ., 2015)، ويتم انتشار الماء في المواد المركبة المسلحة بألياف طبيعية بالآلية التقليدية من خلال الانتشار على طول الليف، أو بالانتشار عبر الطور الرابط بين الليف والمادة البوليمرية، وقد يتم في بعض الحالات بالآلية الشعرية من خلال الليف نفسه (LE DUIGOU *et al* .,2013، WANG *et al*.,2006).

يختلف سلوك امتصاصية المادة المركبة للماء باختلاف وسط ومدة الغمر وتزداد نسبة الانتباج الحاصل في العينات بازدياد سماكتها الأمر الذي يؤدي لانخفاض خواصها الميكانيكية (FERDOUS *et al* .,2019، SEKI *et al*., 2012)، ويؤدي ارتفاع كل من درجة حرارة وسط الغمر ونسبة الماء الممتصة إلى زيادة نسبة التحلل الحاصل في العينات مسبباً مزيداً من الانخفاض في الخواص الميكانيكية للمادة المركبة. (DHAKAL *et al*., 2007، ALOMAYRI *et* 14 *al* .,20، YANG *et al* .,2011، OSMAN *etal*.,2011)، وتبدو التغيرات الحاصلة في الخواص الميكانيكية للمادة المركبة المسلحة بألياف طبيعية واضحة عند الأيام الأولى من الغمر، ثم تستقر هذه الخواص نسبياً مع ازدياد مدة الغمر (FERREIRA *et al*., 2016 ، SHAZAD,2011).

بعد الوصول إلى الانتباج المتوازن تميل قيمة الماء الممتص إلى التناقص، ويعود ذلك لتركيب الليف وانتباج الألياف الذي يسبب شقوق ميكروية في مادة الأساس البوليمرية (HABIBI *et al*.,2019). يسبب الانتباج المتباين الحاصل بين الليف الشره للماء والمادة البوليمرية الكارهة للماء مستويات عالية من الإجهادات تسبب بدورها تصدعات وفصل بين طبقات المادة (DHAKAL *et al*.,2007،AZWA *et al* .,2013).

يتميز الليف الطبيعي(luffa) بميل كبير لامتصاص الماء نظراً لبنيته المسامية، إلا أن تفادي التماس المباشر بينه وبين الأوساط الرطبة باستخدام مركبات قليلة الامتصاصية كالبولي استر غير المشبع والأيبوكسي يعمل على تحسين خواصه بشكل كبير (CHEN *et al*.,2014)، ويؤثر البناء الداخلي لليف بشكل كبير في الخواص التي يتمتع بها المركب النهائي، وقد بينت نتائج المقارنة بين عينات من البولي استر غير المشبع مع ألياف القنب وأخرى تحوي ألياف اللوف (luffa) وجود تغير ملحوظ في خواص الشد والانحناء وسلوك الامتصاصية عند نفس السماكة (CHEN *et al*.,2017).

تتميز ألياف سعف النخيل بميلها الكبير لامتصاص الرطوبة إضافة لضعف الالتصاق بينها وبين المادة البوليمرية، وقد أظهرت المادة المركبة من الايبوكسي المدّعم بألياف من سعف النخيل بنسبة (31.4%) ميل لامتصاص الماء بشكل كبير لدرجة تشبع الألياف بنسبة (98.4%) خلال اليوم الأول من الغمر، أي بنسبة امتصاصية (60.7%) (MAHDI *et al*.,2015)، ووصلت لحالة الإشباع بعد حوالي (6) أيام من الغمر وأظهرت ميلاً أكبر لامتصاص الماء بالمقارنة مع

العينات النقية (Al SHAMMARI *et al* .,2019)، ويعود ذلك الى تشكل الروابط الهيدروجينية بين مجموعات الهيدروكسيل الموجودة في جدران الخلايا السيللوزية لليف والماء عالي القطبية، وقد بينت الدراسات العلمية إمكانية استخدام هيدروكسيد الصوديوم لمعالجة ألياف السعف وإزالة مجموعات الهيدروكسيل (OH−) ما يساعد على إزالة الرطوبة المتبقية في الألياف وتقليل امتصاصها للماء، وهو الأمر الذي يؤثر بشكل واضح على سلوكها الميكانيكي مقارنة مع الألياف غير المعالجة (KUSMONO *et al*.,2020، ELBADRY,2014).

تنخفض مقاومة الشد لعينات من الايبوكسي المدّعم بألياف الكتان بمقدار (28.3%) بعد الغمر لمدة 12 شهراً في ماء البحر، بينما تنخفض بمقدار (22.6%) بعد الغمر بالماء العذب لنفس المدة، حيث تعمل المكونات الموجودة في ماء البحر على تفكيك مكونات الليف من الليغنين والهيمي سيللوز، ما يسبب انخفاض أسرع في الخواص الميكانيكية (YAN *et al* ., 2015)، كما تنخفض مقاومة الشد لهذه العينات بمقدار (42%) بعد الغمر لمدة (30 يوم) في ماء الصنبور (CHILALI *et al*.,2018).

أوضحت العديد من الدراسات حساسية الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمواد المركبة المسلحة بالألياف الطبيعية للرطوبة وامتصاص الماء، حيث تتناقص مقاومة الشد بنسبة (15−38%) لعينات البولي استر المسلحة بثلاث إلى خمس طبقات من القنب مقارنة بالعينات الجافة، وبنسبة (5−9%) للعينات المسلحة بنسبة(10− 30%) قنب بعد غمرها بالماء، ويزداد الانخفاض الحاصل بالخواص بزيادة المحتوى من الليف الطبيعي حيث ينخفض معامل الشد عند عدد طبقات (5,4,3) قنب بنسبة (87,97,61%) على التوالي (DHAKAL 2007 ,*et al*.,2002، MWAIKAMBO *et al*.,2002، SINGH *et al* .,2013).

2− أهمية البحث وأهدافه:

تتميز الألياف الطبيعية بسهولة التأثر بالرطوبة ما يسبب قلة التوافق بينها وبين مادة الأساس البوليمرية، وانخفاض في الخواص الميكانيكية للمادة المركبة الناتجة، الأمر الذي يقلل من أدائها وعمرها الاستثماري، لذلك يهدف البحث لتحديد وتقييم التغيرات الحاصلة في الخواص الميكانيكية للمواد المركبة البوليمرية المدّعمة بالألياف الطبيعية المختارة قبل استخدامها في تصنيع شفرات العنفات الريحية المنزلية المستخدمة في بيئات العمل ذات الرطوبة العالية كالبيئات الساحلية.

3− المواد المستخدمة في البحث:

1− مادة البولي إستر غير المشبع ولها الخواص المبينة بالجدول (1):

جدول (1)− خواص البولي استر غير المشبع بدرجة حرارة الوسط المحيط عند الاختبار.

الخصائص	المواصفات	الواحدة
الحالة	سائل لزج وردي اللون	
اللزوجة عند الدرجة 21C̊	1−0.08	Pa.S
زمن التجلتن عند إضافة 1.5% من مادة MEKP	20−15	Min
درجة الحرارة الأكسوثرمية العظمى عند إضافة 1.5% من مادة MEKP	146	℃

2− المادة البادئة: بيروكسيد الميثيل إيثيل كيتون (MEKP) نوع (Butanox −M−50) تمت إضافتها للبولي استر غير المشبع بنسبة ثابتة(1.5%) في كافة المركبات.

3- المادة المسرعة: محلول الكوبالت نفتنات الحاوي على نسبة (6%) كوبالت.

4- نسيج القنب (Hemp): يزرع نبات القنب في المناطق الاستوائية وتغزل أليافه بشكل خيوط خشنة قوية، تستخدم في صناعات عدة كالحبال والأحذية وأكياس تعبئة المحاصيل الزراعية، تم استخدامه من أكياس تعبئة المحاصيل الزراعية المتوفرة في الأسواق المحلية.

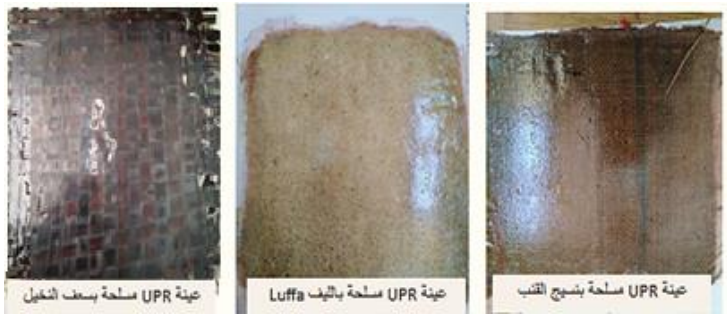
5- سعف النخيل(Date Palm frond): سعفة النخيل عبارة عن ورقة مركبة ريشية كبيرة الحجم يتراوح طولها بين (3 m-6) وعليها أوراق رمحية الشكل متصلة بالعرق الوسطي ويبلغ عدد الأوراق على السعفة الواحدة بين (120-240) ورقة، تم جمعها محلياً من نواتج عمليات التقليم السنوي ثم غسلها وتجفيفها في الشمس لعدة أيام، وفي مجففات على درجة حرارة (80 ℃) حتى حدوث ثبات الوزن، ثم معالجتها بهيدروكسيد الصوديوم بنسبة (4%) لمدة 24 ساعة قبل استخدامها في التسليح.

6- الليف الطبيعي أو نبات اللوف (luffa): نبات متسلق يتبع الفصيلة القرعية ينتج ثمار لبّها غنية بالليغنين تتمتع بتركيب ليفي متعدد المسامات (poly porous structure).

الشكل (1) – الألياف الطبيعية المستخدمة في البحث (a): سعف النخيل،(b) الليف الطبيعي،(c) القنب.

4- طرق تحضير العينات:

تم تحضير ألواح من البولي إستر غير المشبع مع طبقات من الألياف الطبيعية المختارة للبحث بطريقة التكديس اليدوي (hand – lay up) على لوح زجاجي حيث تم طلاء طبقات الألياف المختارة للبحث بمادة البولي إستر غير المشبع (مع النسب المحددة من مواد الإضافة)، بعد ذلك تركت العينات للتصلب بدرجة حرارة الغرفة (وسطياً 20℃) مع تطبيق أحمال بوزن(5-10 Kg) على القالب الزجاجي لتخليص العينات من الفقاعات الهوائية. العينات المحضرة هي: عينات UPR المسلح بنسيج القنب بعدد طبقات (6,8)، عينات UPR المدّعم بحصيرة ألياف السعف المعالج بهيدروكسيد الصوديوم بعدد طبقات (8)، عينات (UPR) المدّعم بألياف اللوف وبعدد طبقات (6).



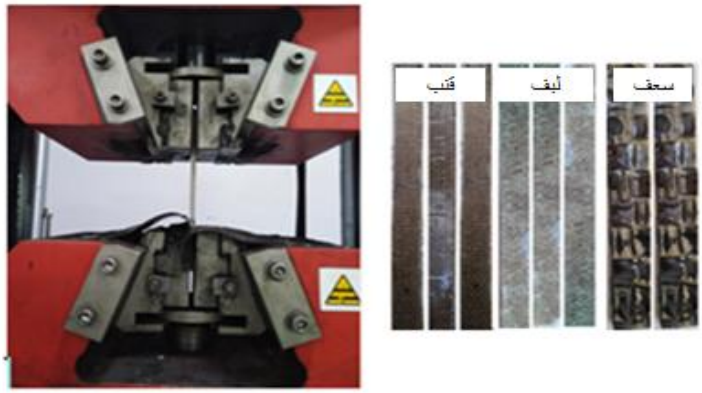
الشكل (2) – صورة توضح عينات البولي استر غير المشبع المسلحة بأنواع مختلفة من الألياف الطبيعية.

5- طرق الاختبار والقياس:

تشير بعض الدراسات إلى أن تحقيق التصلب الكامل للبولي استر غير المشبع غير ممكن، كما أشار بعض الباحثين لضرورة إجراء معالجة حرارية للمنتج النهائي بالدرجة (60°C) لمدة تتراوح بين (4-2) ساعة (HAYATY *et al.*,2004) لذلك بعد تصلب العينات تم إجراء معالجة حرارية عند الدرجة (60 °C) لمدة ساعتين بهدف استكمال تصلب البولي استر غير المشبع، بعد ذلك تم اقتطاع عينات مستطيلة بطول(20 cm) وعرض(2 cm) وسماكة (6 mm) للعينات المدعمة بست طبقات، وسماكة (7 mm) للعينات المدعمة بثمان طبقات من الألواح المعالجة حرارياً، ثم غمر العينات بالماء العذب غير المقطر وماء البحر عند درجة حرارة الغرفة لمدة (720ساعة).

❖ **اختبار الشد:**

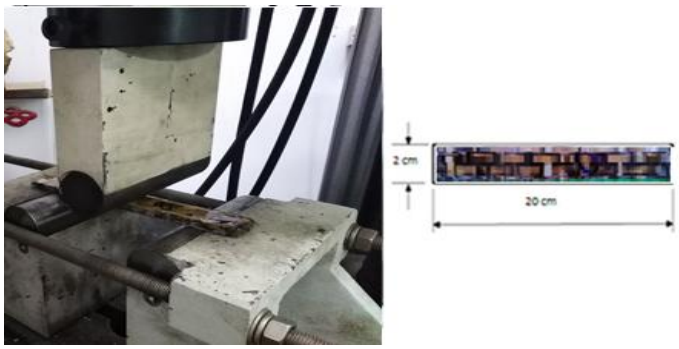
تم اجراء الاختبارات للعينات في مخابر جامعة تشرين على آلة شد نوع (iber test) عند سرعة الاختبار (5 mm/min) استناداً للمواصفات القياسية العالمية (ISO 6259).



الشكل (3) – صورة عينات اختبار الشد المحضرة من UPR وألياف طبيعية ، وجهاز الاختبار المستخدم.

❖ **اختبار الانحناء:**

أجري اختبار الانحناء ثلاثي النقاط (three –point test) لعينات بطول (20 cm) وعرض (2 cm) على آلة اختبار نوع (iber test)، سرعة الاختبار (5 mm/min).



الشكل (4) – أبعاد عينة اختبار الانحناء والجهاز المستخدم.

❖ **اختبار الامتصاصية طويلة الأمد (long – Time Absorption)**

تم وزن العينات الجافة بميزان ذي دقة (0.001gr)، بعد الغمر، تم وزن العينات بشكل دوري بعد رفعها من الماء وتجفيفها بشكل جيد بورقة ترشيح عدة مرات لإزالة الماء عن سطح العينة، وبعد وزن العينات وتحديد زمن الغمر تم حساب النسبة المئوية لامتصاص الماء M(t) وفق العلاقة (1):

$$\%M_t = \frac{(W_t - W_o)\times 100}{W_0} \quad \ldots\ldots (1)$$

حيث : w_t: وزن العينة بعد الغمر (gr)، w_o : الوزن الأولي للعينة قبل الغمر (gr).

تزداد سماكة العينات نتيجة امتصاص الألياف الطبيعية للماء ما يسبب حدوث ما يدعى بالانتباج ولذلك تدرس نسبة الانتباج كنسبة مئوية لتغير السماكة (KUMAR *et al.*,2019) وفق العلاقة (2):

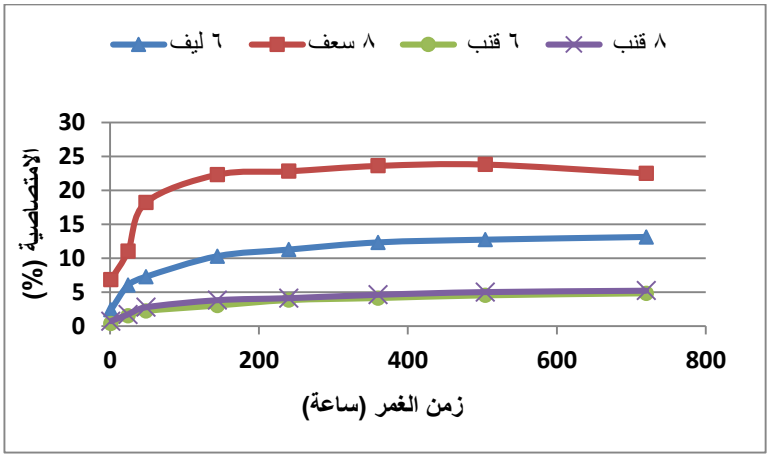
$$TS(t) = \frac{H_t - H_o}{H_o}\times 100 \quad (2)$$

حيث : H_t: سماكة العينة بعد الغمر (mm)، H_o : السماكة الأولية للعينة قبل الغمر (mm).

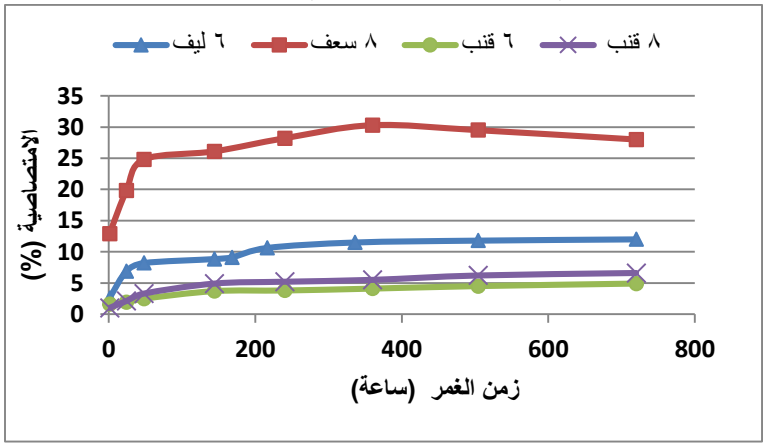
6- النتائج والمناقشة:

❖ **نتائج الامتصاصية:**

تمثل الأشكال (5,6) منحنيات الامتصاصية لعينات البحث المختارة ويلاحظ من خلالها أنه يمكن تجزئة منحنيات الامتصاصية إلى ثلاثة مراحل:



الشكل (5) – منحنيات الامتصاصية في ماء البحر لعينات من البولي استر غير المشبع المسلح بطبقات من ألياف طبيعية.



الشكل (6) – منحنيات الامتصاصية في ماء عذب لعينات من البولي استر غير المشبع المسلح بطبقات من ألياف طبيعية.

1 – مرحلة أولية تكون فيها الزيادة الحاصلة في وزن العينات خطية خلال الأيام الأولى للغمر (امتصاص العينات للماء يتم بشكل خطي مع الزمن).

2 – مرحلة ثانية انتقالية صغيرة تلي المرحلة الأولى و تكون فيها الزيادة الحاصلة في وزن العينات لا خطية.

3 – مرحلة ثالثة تميل فيها قيم الامتصاصية للتزايد الخطي تقريباً ولكن بشكل بطيء جداً، باستثناء منحني الامتصاصية لسعف النخيل والذي يميل للتناقص بعد بلوغ مرحلة الإشباع، ويفسر ذلك بضعف قوى الالتصاق والترابط بين مادة الأساس البوليمرية والسعف، وحدوث فقدان في قدرة المادة البوليمرية على تغليف الألياف والحفاظ على تماسكها بالرغم من المعالجة الكيميائية التي أجريت لألياف السعف.

وصلت العينات إلى الاشباع المتوازن بعد حوالي 360 ساعة غمر في كلا الوسطين، ويلاحظ بعد غمر العينات لمدة (720ساعة) أن عينات القنب هي الأقل امتصاصاً للماء يليها الليف (luffa) ثم السعف. من الضروري ملاحظة أن انتباجية بقية العينات غير مصحوبة بأي ضرر مرئي في المادة ماعدا تغير لون العينات وتعكّر المياه في نهاية مدة الغمر كما يظهر من خلال الشكل (7).

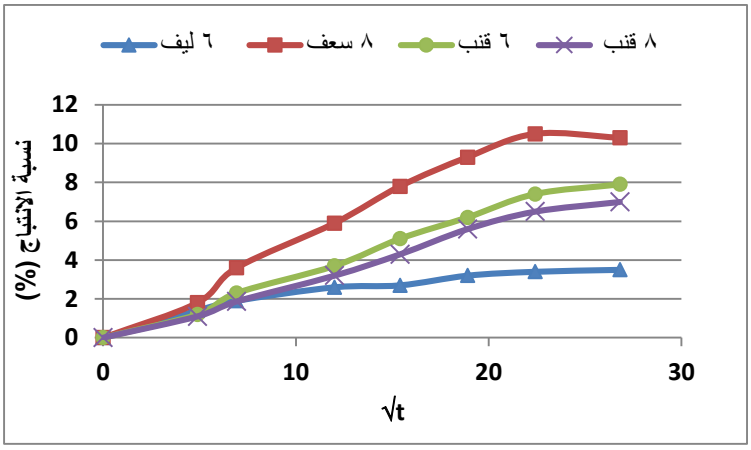
الشكل (7) – صورة توضح تغير لون العينات و تعكر المياه في نهاية مدة الغمر.

❖ **نتائج الإنتباجية :**

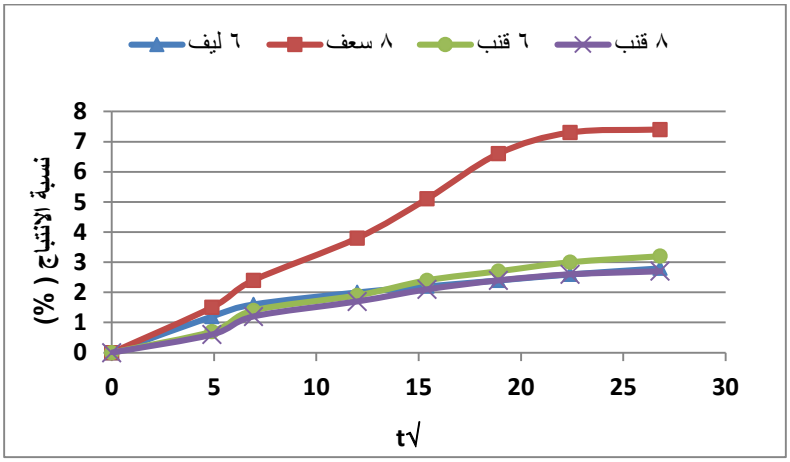
يعد الانتباج الحاصل بالعينة من البارامترات الواجب قراءتها، ذلك لأنه يعبر عن التغيرات اللاعكوسة الحاصلة في حجم العينات المسلحة بالألياف الطبيعية نتيجة امتصاصها للرطوبة أو غمرها بالماء.

تتم عملية الانتباج عادة عند وضع عينة اختبار جافة في بيئة رطبة أو عند الغمر بالماء، حيث تبدأ المادة السائلة بالانتشار، ويتم انتقال الماء الممتص أو الرطوبة بالتدريج من السطح الرطب باتجاه المناطق الجافة في العينية. يرافق هذه العملية تشكل إجهادات عند المناطق الحدودية الفاصلة بين الطبقة الرطبة والجافة نتيجة الانتباج التدريجي للمناطق الرطبة. تسبب القوى الداخلية المتشكلة داخل عينة الاختبار تشكّل إجهادات داخلية، وتساهم محصلة القوى الداخلية الناشئة عن عملية الامتصاص بإحداث الانتباج الحجمي بشكل تدريجي حتى الوصول لحالة الإشباع.

تظهر الأشكال (8,9) منحنيات الانتباج لعينات البحث بعد غمرها بماء عذب وماء البحر:



الشكل (8) – نسبة الانتباج في ماء عذب لعينات من البولي استر غير المشبع المسلح بطبقات من ألياف طبيعية.



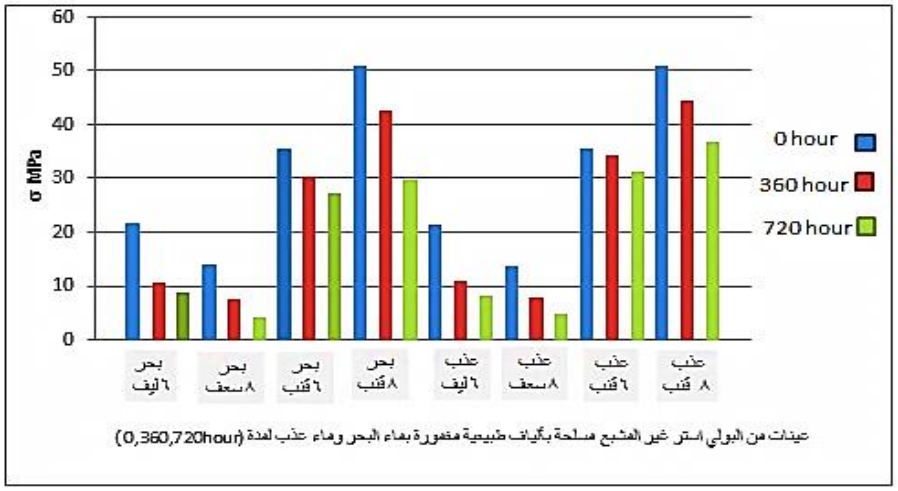
الشكل (9) – نسبة الانتباج في ماء البحر لعينات من البولي استر غير المشبع المسلح بطبقات من ألياف طبيعية.

يلاحظ أن أقل نسبة انتباج كانت حوالي (2.8%) عند الغمر بماء البحر لعينات (UPR) المسلحة بثمان طبقات من القنب وست طبقات من الليف، بينما تبدي عينات السعف المغمورة في ماء البحر والماء العذب أعلى قيم للانتباج ويفسر ذلك بهيدروفيلية ألياف السعف وقلة التوالف بينها وبين مادة الأساس (UPR).

إن البنية المسامية لليف (luffa) تجعل من المتوقع حدوث انتباج بنسب مرتفعة، إلا أن النتائج تؤكد ما أشارت إليه الدراسة المرجعية (CHEN *et al.*,2014) حول مساهمة تغليفه بالمواد البوليمرية كالبولي استر غير المشبع والإيبوكسي في تقليل امتصاصه للماء وبالتالي تقليل التغيرات الحاصلة في بنية المادة المركبة المدعمة به.

❖ نتائج اختبار الشد :

يبين الشكل (10) تغير اجهاد الشد الأعظمي لعينات البحث عند ثلاث نقاط زمنية مميزة(بداية الغمر، بعد 360 ساعة أي عند مرحلة الاشباع ، نهاية مدة الغمر) وذلك استناداً لمنحنيات الامتصاصية الموضحة بالشكلين (5.6).



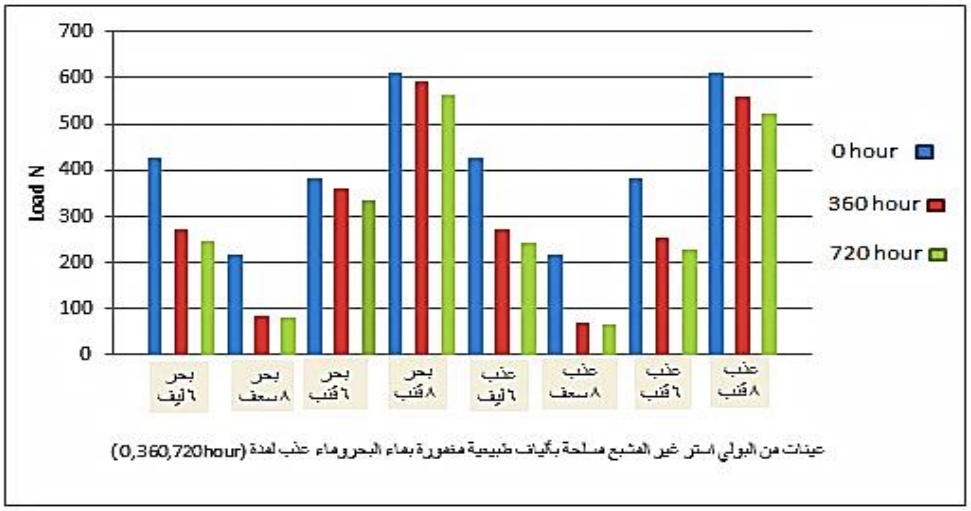
الشكل (10) – تغير اجهاد الشد عند الانقطاع عند ثلاث نقاط زمنية لعينات UPR المسلحة بألياف طبيعية والمغمورة بماء البحر والماء العذب.

يلاحظ من الشكل (10) انخفاض قيمة مقاومة الشد لجميع العينات بزيادة زمن الغمر. مقدار الانخفاض الحاصل في قيمة مقاومة الشد للعينات المغمورة في ماء البحر أكبر من الانخفاض الحاصل عند الغمر في ماء عذب، تتشابه هذه النتيجة مع ما أشارت إليه الدراسة المرجعية (YAN *et al* ., 2015) والتي بيّنت انخفاض قيمة مقاومة الشد لعينات الايبوكسي المدعم بألياف الكتان المغمورة في ماء البحر بنسبة (28.3%) مقارنةً بالنسبة (22.6%) للعينات المغمورة بالماء العذب، وقد فسر ذلك بعمل ماء البحر كوسط كيميائي شديد يقوم بتفكيك كل من العوالق الموجودة على سطح الألياف إضافة لتفكيك الليغنين والهيمي سيللوز الداخل في تركيب الليف الطبيعي، بالتالي الفقد الحاصل في هذه المكونات يخلق مزيد من مناطق الفصل (ضعف الالتصاق) بين الليف والمادة الرابطة (UPR) ما يسبب انخفاض في مقاومة العينات مقارنة بمثيلاتها المغمورة بالماء العذب.

سببت امتصاصية ماء البحر انخفاضاً في قيم مقاومة الشد بنسبة (59%) للعينات المسلحة بالليف، و(70.2%) للعينات المسلحة بالسعف، و(41.4%,23.2%) للعينات المسلحة بست وثمان طبقات قنب على التوالي، في حين سببت امتصاصية الماء العذب انخفاضاً في مقاومة الشد بنسبة (62%) للعينات المسلحة بالليف، و(65%) للعينات المسلحة بالسعف، و(27.7%,11.66%) للعينات المسلحة بست وثمان طبقات قنب على التوالي.

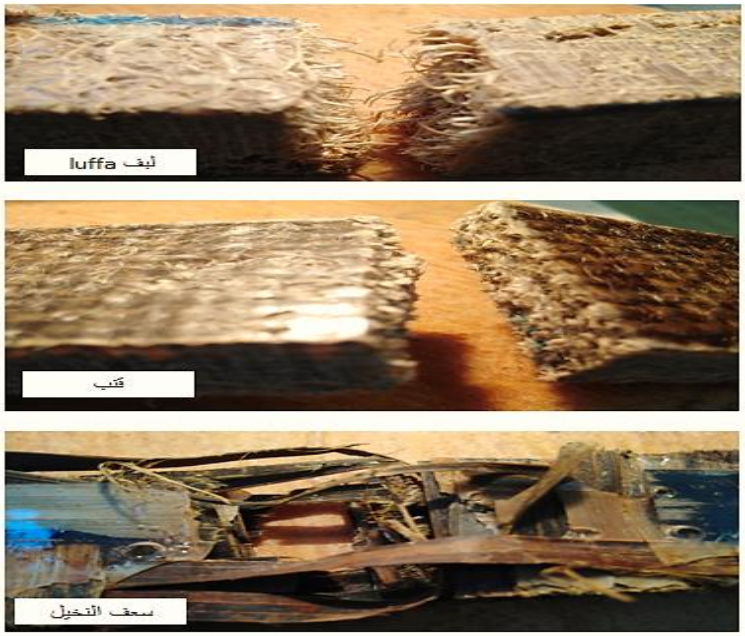
❖ **نتائج اختبار الانحناء:**

يشكل اختبار الانحناء الستاتيكي أهمية كبيرة في دراسة المركبات الصفائحية حيث يمكن من خلال هذا الاختبار تقييم قوى الالتصاق بين الطبقات المشكلة(بوليمر – ألياف التسليح)، ويبين الشكل (11) القوى اللازمة للانهيار في اختبار الانحناء الستاتيكي لعينات البحث عند ثلاث نقاط زمنية مميزة(بداية الغمر، بعد 360 ساعة أي عند مرحلة الاشباع ، نهاية مدة الغمر):



الشكل (11) – منحنيات تغير الحمولة العظمى على الانحناء الستاتيكي لعينات UPR المسلحة بألياف طبيعية والمغمورة بماء البحر والماء العذب.

يلاحظ انخفاض قيم قوة الانحناء عند الغمر بماء البحر بنسبة (42%) للعينات المسلحة بالليف، (62.7%) للعينات المسلحة بالسعف، و(8.1%, 12%) للعينات المسلحة بست وثمان طبقات قنب على التوالي، بينما أدى الغمر بالماء العذب لانخفاض قيم القوى اللازمة للانهيار بنسبة (45%) للعينات المسلحة بالليف،(69.3%) للعينات المسلحة بالسعف، و(14.2%, 40.15%) للعينات المسلحة بست وثمان طبقات قنب على التوالي. بالتالي يمكن القول أن عينات القنب هي الأكثر احتفاظاً بخواصها الميكانيكية عند الغمر بكلا الوسطين تليها عينات الليف ثم السعف، وتظهر الصور الفوتوغرافية الموضحة بالشكل (12) مقاطع التحطم للعينات المعرضة لإجهاد الشد:



الشكل (12) – صور فوتوغرافية لموقع التحطم لعينات UPR مسلحة بألياف طبيعية ومغمورة بماء عذب وماء البحر.

كما هو واضح من الشكل بقيت العينات المسلحة بالليف متماسكة في موقع الكسر مع حدوث انسلاخات صغيرة للألياف في هذا الموقع، مما يدل على مساهمة الألياف في عملية التسليح بشكل واضح، وتظهر الصورة جلياً أن سطح الكسر للعينات المسلحة بنسيج القنب أكثر انتظاماً بالمقارنة مع سطح الكسر للعينات المسلحة بالليف. إن هذه النتيجة

تؤكد الدور المقوي لهذه الألياف في المادة المركبة، وعلى العكس من ذلك يلاحظ أن موقع الكسر للعينات المسلحة بسعف النخيل قد تعرض للتحطم وتفتت في طبقات الألياف وقد تعرضت المادة البوليمرية للضرر بشكل كبير على مساحات أكبر ضمن منطقة الكسر وهذا لا يلغي أبداً الدور المقوي لهذه الألياف ولكن يؤكد ضعف الالتصاق بين الطبقات المسلحة بسعف النخيل.

7- الاستنتاجات:

- تحقق عينات (UPR) المسلحة بالقنب أفضل النتائج من حيث مقاومتها لامتصاص الماء تليها العينات المسلحة بالليف(luffa) والعينات المسلحة بحصيرة السعف.
- مقدار التناقص في مقاومة الشد لعينة (UPR) المسلحة بست طبقات قنب لم يتجاوز(30%) في كلا الوسطين بينما فقدت العينات المسلحة بالليف وبعدد مماثل من الطبقات ما يزيد عن(50%) من مقاومتها.
- تناقصت مقاومة الشد للعينات المسلحة بثمان طبقات من السعف بنسبة تزيد عن (65%) في كلا الوسطين بينما لم تتجاوز(42%) لمثيلاتها المسلحة بالقنب.
- بمقارنة الخواص الميكانيكية (شد – انحناء) بعد الغمر بكلا الوسطين فإن المادة المركبة المدعمة بألياف القنب هي الأكثر احتفاظاً بخواصها تليها العينات المدعمة بالليف ثم بالسعف.
- يلعب ماء البحر دوراً في تفكيك مكونات الليف الطبيعي ما يسبب انخفاض أكبر في مقاومة الشد للمادة المركبة مقارنة بالماء العذب.

8- التوصيات:

- دراسة التغيرات الحاصلة في البنية الداخلية للعينات.
- استخدام نظام معالجة كيميائية يحسن من خواص ألياف السعف قبل استخدامها في التسليح كإجراء عملية تطعيم سطحي للألياف بمونوميرات أو كوبوليمرات تحسن التوافق والتوالف بين الليف والطور الأساس(matrix phase).
- دراسة التقوية بألياف طبيعية أخرى مثل ألياف الكتان والسيللوز والحرير والسيزال.

المراجع :

1- Al SHAMMARI ,B ; SABA, N ;. ALOTAIBI, M; JAWAID, M. and. ALOTHMAN , O.2019, *Evaluation of Mechanical, Physical, and Morphological Properties of Epoxy Composites Reinforced with Different Date Palm Fillers, Materials*,vol.12 , 2145.

2- ALOMAYRI, T; ASSAEDI, H; SHAIKH ,F.U.A; LOW, I.M .2014 , *Effect of water absorption on the mechanical properties of cotton fabric reinforced geo polymer composites, Journal of Asian Ceramic Societies*, vol. 2, 223-230.

3- AZWA, Z.N; YOUSIF, B.F; MANALO, A.C; KARUNASENA, W. 2013, *A review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres. Materials & Design* ,47 (0), 424-442.

4- CHEN ,Y; SU ,N; ZHANG K; ZHU, S ; ZHAO L; FANG ,F; REN, L and GUO ,Y. 2017, *In-Depth Analysis of the Structure and Properties of Two Varieties of Natural Luffa Sponge Fibers, Materials*, 10, 479.

5- CHEN, Q; SHI, Q; GORB, S.N; LI, Z. 2014, *A multi scale study on the structural and mechanical properties of the luffa sponge from Luffa cylindrica plant. J. Biomech* ,47, 1332–1339.

6- CHILALI ,A; ZOUARI ,W; ASSARAR, M; Kebir, H and AYAD, R.2018, *Effect of water ageing on the load-unload cyclic behaviour of flax fibre-reinforced thermoplastic and thermosetting composites*, *Compos. Struct*ure, vol. 183, pp. 309–319.

7- DAYO, A.Q; ZEGAOUI, A; NIZAMANI, A.A; KIRAN, S; WANG, J; DERRADJI, M; CAI, W.A; LIU, W.B. 2018,*The influence of different chemical treatments on the hemp fiber/polybenzoxazine based green composites: Mechanical, thermal and water absorption properties*.*Mater. Chem. Phys*, 217, 270–277.

8- DHAKAL, H.N; ZHANG, Z.Y; RICHARDSON, M.O.W. 2007, *Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites, Composite Science and Technology*, Vol.67, Issue 7-8, 1674-1683.

9-ELBADRY ,E.A. 2014, *Agro-Residues: Surface Treatment and Characterization of Date Palm Tree Fiber as Composite Reinforcement, Hindawi Publishing Corporation Journal of Composites*, Volume2014, Article ID 189128, 8 pages.

10- FERDOUS, M ; ARANNO, T ; ULLAH KAAN , M .2019, *Enviromental impact on mechanical properties of jute fiber reinforced epoxy composite and hyprids, International Journal of Mechanical and Production Engineering*, ISSN(p): 2320-2092, ISSN(e): 2321-2071 Volume- 7, Issue-11. http://iraj.in

11- FERREIRA, J ; CAPELA, C; MANAIA, J ; DOMINGOS COSTA , J .2016, *Mechanical Properties of Woven Mat Jute/Epoxy Composites, Materials Research*, vol. 19,No.3, 702-710, DOI: http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0422.

12- HABIBI ,M; LAPERRIERE, L and MAHI, H. 2019, *Effect of moisture absorption and temperature on quasi-static and fatigue behavior of nonwoven fl ax epoxy composite, Compos. Part B,* vol. 166, pp. 31–40.

13- HAYATY,M ; BEHESHTY, M .2004, *Shrinkage cure characterization and processing of unsaturated polyester resin containing PVC c low-profile additive. Iranian polymer Journal* , vol.13, No.5, 389-396.

14-KUMAR, C; KUMAR, V; MISHRA, P.2019, *Analysis of Mechanical Properties of Natural Fibre Reinforced Composites with the Effect of Water Absorption, International Journal of Research in Engineering, Science and Management* **,**Volume-2, Issue-6. www.ijresm.com | ISSN (Online): 2581-5792 593

15-KUSMONO, K ; HESTIAWAN, H; JAMASRI, J. 2020 , *The water absorption, mechanical and thermal properties of chemically treated woven fan palm reinforced polyester composites, journal material research technology*, vol.9,No.3, 4410–4420.

16-LE DUIGOU, A; DAVIES, P; BALEY, C. 2013. *Exploring durability of interfaces in flax fibre/epoxy micro-composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* ,48, 121-128.

17-MAHDI, E; OCHOA , D .2015, *Effect of Water Absorption on the Mechanical Properties of Long Date Palm Leaf Fiber Reinforced Epoxy Composites, Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, p.1508. https://www.researchgate.net/publication/274140258.

18-MWAIKAMBO, L; ANSEL, M.2002, *Chemical modification of hemp, sisal, jute and kapok fibres by alkalization, J Application Polymer Science ,* 84:2222–34.

19-OSMAN, E;. VAKHGUELT,A; SBARSKI, I; MUTASHER ,S .2011 ,*Water absorption behavior and its effect on the mechanical properties of kenaf natural fiber unsaturated polyester composites, 18th International Conference on Composite Materials* ,vol.1,No.1,17pages.

20-SEKI ,Y; SEVER, K; ERDEN ,S; SARIKANAT ,M; NESER, G and OZES, C .2012, *Characterization of luffa cylindrica fibers and the effect of water aging on the mechanical properties of its composite with polyester, Journal of Applied Polymer Science*, vol. 123, no. 4, pp. 2330-2337.

21-SHAZAD, A .2011, *Effects of Water Absorption on Mechanical Properties of Hemp Fiber Composites, Polymer Composites, Society of Plastics Engineers*, 01-09, Vol. 2011.

22-SINGH ,A. A & PALSULE , S.2013, *Effect of water absorption on interface and tensile properties of jute fibre reinforced modified polyethylene composites developed by Palsule process, Applied Polymer Composites*, vol. 1, No2, 113-123.

23-WANG, W; SAIN, M; COOPE, P.A.2006, *Study of moisture absorption in natural fiber plastic composites ,Composites Science and Technology* ,66, 379-386.

24-YAN, L. and CHOUW, N. 2015, *Effect of water , seawater and alkaline solution ageing on mechanical properties of flax fabric / epoxy composites used for civil engineering applications*, *Constr. Build. Mater* ,vol. 99, pp. 118–127.

25-YANG ,Y; OTA, T; MORII, T .2011, *Hamada H. Mechanical property and hydrothermal aging of injection molded jute/polypropylene composites. Journal of Materials Science* ,vol. 46,No 8, 2678- 2684. http://dx.doi.org/10.1007/s10853-010-5134-8.