

دراسة تجريبية تحليلية لظاهرة الامتصاصية في مركبات البولي استرغير المشبع- بودرة الخشب

د. رامي منصور¹

د. لطيفة الحموي²

نور عباس³

تاريخ الإيداع 2 / 6 / 2016. قُبل للنشر في 19 / 12 / 2016

□ ملخص □

يهدف هذا البحث إلى دراسة سلوك امتصاص الماء في المواد المركبة المؤلفة من البولي استر غير المشبع /نفايات بودرة الخشب .لتحقيق هذا الهدف تم تحضير عينات بطريقة الكبس بنسب مختلفة لمادة الأساس الرابطة البوليميرية مع النفايات العضوية الناتجة عن ورش النجارة (بودرة الخشب) .تم قياس كثافة الألواح المصنعة وبينت نتائج الكثافة إمكانية الحصول على ألواح خشب صناعي من النوع القاسي .تم إجراء التجارب العملية من أجل تحديد النسبة المئوية لامتصاص الماء ،حيث تم إجراء اختبار الامتصاصية على العينات المقطعة وغمرها في الماء العذب غير المقطر ،وحساب الوزن المكتسب للعينات والانتاج الحاصل من أجل معرفة التغيرات النهائية في المنتج ، ومن خلال هذه الدراسة تبين زيادة الامتصاصية مع زيادة نسبة المائي العضوي وازدياد حجم الحبيبات ،وان سلوك الامتصاص يخضع لقانون فيك Fick للانتشار في اغلب العينات .وتم حساب معامل الانتشار D و البارامترات المعبرة عن عملية الانتشار ورسم المخططات البيانية المرافقة لنتائج الامتصاصية .وأظهرت النتائج إمكانية تصنيع ألواح من الخشب الصناعي دون الحاجة إلى المعالجة المسبقة لبودرة الخشب.

الكلمات المفتاحية: البولي استر غير المشبع- نفايات الخشب -معامل الانتشار - الامتصاصية

- 1-أستاذ- قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
- 2-أستاذ - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية
- 3-طالبة دراسات عليا - قسم التصميم والإنتاج - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية

Experimental and Analytical Study of absorbance phenomenon in unsaturated polyester – wood flour

Dr. Rami Hanna Mansour⁴

Dr. Lateffa Alhamwe⁵

Nour Abbas⁶

(Received 2 / 6 / 2016. Accepted 19 / 12 / 2016)

□ ABSTRACT □

In this study, we have investigated the water absorption behavior of unsaturated polyester /wood flour wastes composites materials. To achieve that, specimens were prepared by using compressing method with different ratio of polymer matrix with organic wastes produced from carpentry workshop (wood flour). Density of produced panels has been measured and the obtained results showed that there is an ability to produce hard industrial wood panels. Practical experiments had been achieved to determine the percentages of water absorption. Absorption test was achieved on the cut specimens by immersing them in natural water (un-distilled) and measuring the gained weight of specimens and the resulted swelling to determine the final changes in the product. Through this study, we find that the absorbability has increased with the increment of organic filler ratio and the practices sizes increment. In addition, we also find that the absorption behavior follow Fickian law of diffusion in most specimens. We calculated the diffusion coefficient D and other parameters of diffusion process and we also plotted the associated plots of the absorbability results. The obtained results showed that there is an ability to produce planes of industrial wood without any pretreatment of wood flour.

Key Words: Polyester Unsaturated – Flour Wood – Diffusion coefficient - Absorption

4- Professor– Design and Production Department - Mechanical and Electrical faculty –Tishreen University - Lattakia– Syria

5- Assistant Professor Design and Production Department - Mechanical and Electrical faculty – Tishreen University - Lattakia– Syria

6- Postgraduate Student- Design and Production Department - Mechanical and Electrical faculty – Tishreen University - Lattakia– Syria

مقدمة :

من الناحية البيئية ، فإن كل من تقليل استخدام المصادر المستهلكة والحاجة لإدارة تصريف النفايات يقودان إلى ضغوط متزايدة من أجل إعادة تدوير المواد عند نهاية حياتها المفيدة. يسمى هذا القرن بعصر المواد .من خلال تطوير وإعادة استخدام المواد من جميع الأنواع. فإن التقنية سوف تتحسن بشكل كبير وفق ما قال الباحثون .إن الإقبال على استبدال الحشوة اللاعضوية والمواد الداعمة بمواد عضوية قابلة للتجدد مثل الألياف الطبيعية ومسحوق الخشب المستخدمة في المواد المركبة يزداد لأسباب بيئية [1].

على سبيل المثال ، فإن الخشب هو إحدى المواد الأكثر استخداماً والذي له العديد من التطبيقات في المواد المركبة الجديدة .ففي العديد من الدراسات فقد أكد الباحثون أن الخشب هو أكثر المواد فاعلية والمعروف باستقرارها وقساوتها وقدرتها على تحمل الأحمال وغيرها ، وهذه الخواص نتيجة البنية الخشبية المنظمة. لكن السلبية الأساسية لليف الطبيعي تتمثل في طبيعته المحبة للماء والتي تقلل من استخدام هذه المواد في التطبيقات الخارجية لذلك من الضروري تحليل سلوكها تحت تأثير العوامل المناخية وخاصة الرطوبة [1].

في السنوات الأخيرة برزت تحديات تتمثل في الحصول على مواد مركبة جديدة لها خواص جيدة وجودة عالية باستخدام نفايات الخشب . وهذا يعني اتحاد بين مادتين أو أكثر ذات خواص مختلفة وهذا ينتج في النهاية مادة ذات أداء أعلى [1].

1-الصيغة النظرية

1 1 - آليات نقل الماء

إن الآليات المعتمدة التي تؤثر على حركات نقل الماء في أنظمة (wood polymer composite – WPC) تعتمد على البنية الجزيئية للبوليمير (مثل المجموعات القطبية ، كثافة الروابط العرضية ، درجة التبلور) وعلى بنية السلولز الخشبي وكمية الرطوبة المحيطة ودرجة الحرارة وعلى وجود الفجوات والصدوع والتشققات الصغيرة عند طول السطوح الفاصلة (مادة رابطة – ليف) .

هناك العديد من الآليات التي يمكن أن توضح عملية الامتصاص، ويتم التحكم بعملية نقل الرطوبة في WPC من خلال :

- 1-انتشار جزيئات الماء بين سلاسل البوليمير .
 - 2-النقل الشعري للماء السائل إلى داخل التجاويف والشقوق الصغيرة والفجوات البينية الموجودة بسبب قابلية التبلل لليف .
 - 3-الامتصاص من قبل بودة الخشب بسبب ميلها الكيميائي الكبير لامتصاص الماء بسبب غزارة المجموعات الهيدروكسيلية (OH-) في السلولز الخشبي .
- على الرغم من الآليات المساعدة ، فإن العملية الكلية يمكن أن تنظم وتوصف باستخدام نماذج رياضية تعتمد على نظرية انتشار البوليمير .

يخضع سلوك انتقال الماء في جملة البوليمير - الخشب إلى واحدة من ثلاث حالات وهي :

- 1-الانتشار حسب قانون Fick- الحالة I وفيه تكون سرعة استرخاء البوليمير أكبر من سرعة انتشار الماء
- 2-الحالة (II) .

3-الانتشار الشاذ عن قانون فيك .

يمكن تميز الحالة المسيطرة بشكل نظري من خلال تحديد الثوابت n, k للمعادلة الواصفة لشكل منحنى الامتصاص التجريبي :

$$\frac{M_t}{M_s} = k.t^n \dots\dots\dots 1$$

حيث أن M_t هي النسبة المئوية لكمية الرطوبة في لحظة t .

M_s :النسبة المئوية للامتصاصية بحالة الإشباع.

n :يعتمد على نوع الانتشاروهي تحدد مقدار اقتراب سلوك الانتشار من سلوك فيك أو الابتعاد عنه.

k :يعتمد على الخصائص الهيكلية البنوية للبوليمير وتفاعله مع الرطوبة .

يعتبر سلوك الانتشار خاضع لقانون فيك Fick عندما $n=0.5$ وخاضع للحالة (II) عندما $n=1$ وشاذ عن سلوك

Fick للانتشار عندما $n > 0.5$.

2-1 : قوانين فيك ومعاملات الانتشار

بشكل مشابه لنظرية فورييه في انتقال الحرارة تم صياغة قوانين فيك للانتشار الجزيئي بالاعتماد على نقل الكتلة

العشوائي حيث أن معدل نقل الكتلة ليتناسب مع ميل التركيز الجزيئي C ومتطابق مع الاتجاه X للانتشار ويعبر عنها

بالعلاقة التالية:

$$j = -D \frac{\partial C}{\partial X} \left[\frac{mg}{s.cm^2} \right] \dots\dots\dots 2$$

حيث أن D معامل الانتشار وتشير الإشارة السالبة (-) إلى الحركة الجزيئية من التركيز العالي إلى المنخفض .

تعرف المعادلة (2) على أنها قانون فيك الأول للانتشار .

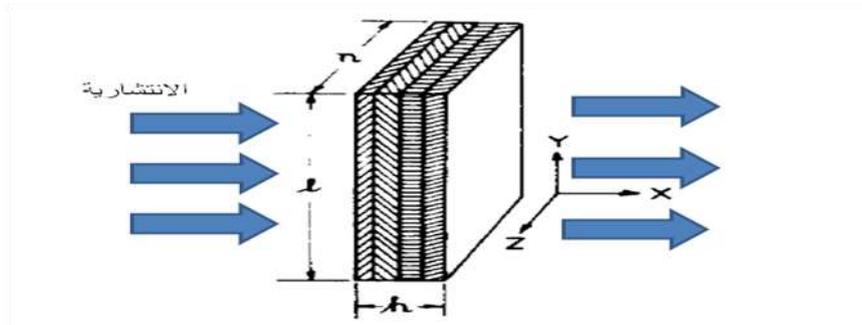
إذا أخذنا مصونية الكتلة بالاعتبار في حالة النقل غير الثابت مع المعامل D ، فإن المعادلة المسيطرة من أجل

نقل الكتلة وفق المحور X في الوسط الموحد الخواص يمكن التعبير عنها من خلال قانون فيك الثاني للانتشار:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \dots\dots\dots 3$$

مع افتراضات أكثر وهي الوسط المادي متجانس ،والانتشار يظهر في صفيحة رقيقة كما في الشكل التالي

وهكذا فإن كمية كبيرة تنتقل عبر الوجوه السطحية وكمية قليلة تنتقل عبر الحواف قابلة للإهمال ،الظروف الحدية المحيطة للرطوبة ثابتة .



الشكل (1) يعبر عن الانتشار خلال صفيحة رقيقة

يمكن التعبير عن الحل التحليلي للمعادلة (3) من اجل صفيحة مستوية ذات ثخانة h بالعلاقة التالية:

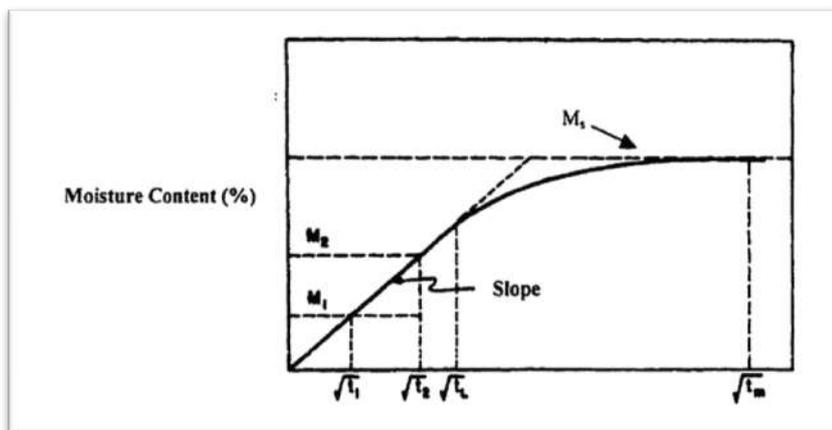
$$\frac{M_t}{M_s} = 1 - \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-\frac{D(2n+1)^2 \pi^2 t}{h^2} \right] \dots \dots \dots 4$$

إن معامل الانتشار حسب فيك D ، هو البارامتر الأهم في هذا النموذج وهو يقاس قدرة جزيئات المذيب على اختراق مادة المركب ويمكن أن يحسب وفق المعادلة التالية :

$$D_A = \frac{\pi h^2 \phi^2}{16 M_s^2} \dots \dots \dots 5$$

حيث أن D_A هو معامل الانتشار المرئي و ϕ هي ميل الجزء الخطي من منحنى الامتصاص التجريبي المبين

بالشكل التالي :



الشكل (2) منحنى الامتصاص التجريبي

حيث يتم حساب ϕ وفق العلاقة التالية :

$$\phi = \frac{M_2 - M_1}{\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1}} \dots \dots \dots 6$$

إذا حققت أبعاد العينة افتراضات الصفيحة الرقيقة حيث D_A يكون مرادفاً لمعامل انتشار D أحادي الاتجاه وإلا فإنه يجب تطبيق معامل تصحيح الحافة حتى نجد معامل الانتشار بالشكل الصحيح من اجل العينات المستخدمة :

$$D = D_A \left(1 + \frac{h}{l} + \frac{h}{m} \right)^{-2} \dots \dots \dots 7$$

عندما $h \ll m$,

الدراسة المرجعية :

تعتبر المالمات النباتية أرخص أنواع المالمات العضوية ثمناً، وتتألف بشكل أساسي من السليلوز (Cellulose) واللغنين (Lignin) وتحتوي على عدد كبير من المجموعات الهيدروكسيلية الأروماتية والأليفاتية والتي بسهولة يمكنها أن تتبادل التأثير كيميائياً مع عدد كبير ومتنوع من المواد البوليميرية [2].

تتعدد مصادر النفايات العضوية النباتية ويمكن تقسيمها لمجموعتين رئيسيتين:

- 1 - النفايات العضوية الصناعية: وهي نتاج العمليات التصنيعية المختلفة مثل النفايات الناتجة عن تصنيع التبغ والقطن وقصب السكر ومعامل الشوندر السكري وورش النجارة.... الخ.
- 2 - النفايات العضوية الطبيعية: وهي نتاج الطبيعة ذاتية التجديد مثل الأعشاب والأغصان البرية وأوراق الشجر ونفايات العملية الزراعية مثل بقايا جذوع قصب السكر والقطن والذرة الصفراء ودوار الشمس وقشور الرز والتبن الخ.

تشير الدراسات العلمية إلى استخدام البلاستيك الحراري أو البلاستيك المتصلب حرارياً مع مواد بلاستيكية جديدة في صناعة الأخشاب الصناعية [3,4,5].

تظهر الدراسة التي قام بها A.Chiper وآخرون [1] إمكانية تحضير مركبات البولي استر غير المشبع المدعمة بألياف القنب من خلال القولية بالكبس حيث تم معالجة ألياف القنب باستخدام

(IEM) (isocyanatoethylmethacrylate)، وتبين من الدراسة أن خصائص امتصاص الماء في العينات المركبة المغمورة في الماء عند درجة حرارة الغرفة تتبع سلوك الانتشار حسب فيك ولكن عند الدرجة 100 C° يحدث انحراف عن هذا السلوك، وإن المعالجة تعطي مقاومة امتصاص أفضل من الألياف غير المعالجة .

درس [6] انتشار الرطوبة في المواد البوليميرية حيث اعتبر أنالشدوذ عن سلوك الانتشار حسب Fick يحدث عندما يؤثر استرخاء البوليمير على سلوك الامتصاص ومثل هذه التأثيرات تقسم إلى مجموعتين تقليديتين كما هو معروف المرحلة الأولى هي الانتشار حسب Fick ويحدث عادة عندما يكون معدل الاسترخاء أعلى من معدل الامتصاصية أما المرحلة الثانية تدعى الانتشار الشاذ ويحدث عادة عندما الاسترخاء والانتشار تملك قيم متقاربة ولوحظ ذلك في العديد من المواد البوليميرية حيث تعتبر من أكثر الأنواع شيوعاً لامتصاص الرطوبة الشاذ.

قام العالم J.Bhaskar [7] بتحضير عينات من الايبوكسي مضافاً له جزيئات من قشر جوز الهند تتراوح مقاساتها من $(200-800)\mu\text{m}$ بنسب وزنية مختلفة (wt%) (20-25-30-35) وتم تصنيع العينات بالصب بالقالب المفتوح بسبب الكلفة المنخفضة وسهولة الطريقة وأظهرت النتائج أن امتصاص الماء يزداد بزيادة النسبة المئوية لجزيئات قشرة جوز الهند .

طور ChowPoo وزملاؤه [8] ألواحاً مركبة من البلاستيك الحراري (Thermoplastic) كمادة أساس مع شبكة من ألياف قصب الذرة، حيث جمعت ألياف قصب الذرة (CornStalk) من غرب الولايات المتحدة الأمريكية وتم تشكيل الألواح المركبة بثلاث طرق:

للطريقة الأولى: تم تشكيل شبكة من (80-90%) ألياف قصب الذرة ممزوجة مع (10-20%) من البولي إيثيلين عالي الكثافة الجديد (Virgin HDPE) و (10-20%) من البولي إيثيلين عالي الكثافة المعاد تدويره (RHDPE).

الطريقة الثانية: تم تشكيل شبكة من % (90-80) من ألياف قصب الذرة ممزوجة بكمية صغيرة-

10% (20) من البوليبروبيلين (PP).

الطريقة الثالثة: تم تشكيل شبكة من % 40 ألياف قصب الذرة ممزوجة مع % 60 من مادة البولي

إثيلين منخفض الكثافة المعاد تدويره (R LDPE).

أجري على هذه الألواح مجموعة من الاختبارات، فتبين أن هذه الألواح ملائمة لأغراض البناء بفضل

خواصها المميزة و المقاومة للشد.

درس AbdollahNajafi وزميله [9] إمكانية استخدام حشوات سللوزية لتدعيم و تقوية البولي إيثيلين عالي

الكثافة والمعاد تدويره (RHDPE) واستخدموا في دراستهم بوردرة قشر الأرز (RH) وبوردرة الخشب (WF) وبوردرة محضرة

من طحن نفايات من ألواح الخشب الصناعية المتوسطة الكثافة (MDF) وأيضاً جزيئات خشب كبيرة الحجم

(Particleboard) ويرمز لها (PB).

شكل الباحثون أربعة أنواع من الألواح وفق النسب التالية:

(RHDPE) 40% مع 60% من إحدى المواد المألوفة السابقة الذكر و 3% من MAPE (البولي إيثيلين

المطعم بالماليك ألدهيد) وكانت الكثافة الاسمية 1 g/cm^3 وأبعاد اللوح $35 \times 35 \times 1 \text{ cm}$. درست امتصاصية الألواح

للماء ، فتبين أنه عند غمر الألواح في الماء لمدة قصيرة ($24 \div 2$) ساعة فإن أعلى قيمة للامتصاصية في حالة

الحشوة من RH،PB،WS،MDF على التوالي وعند الغمر في الماء لمدة طويلة (أكثر من 2016 ساعة) كانت

أعلى قيمة للامتصاصية في حالة WF ثم MDF ثم PB ثم RH ، وبالتالي فإن أقل قيمة للامتصاصية كانت لحشوات

.RH

أهمية البحث وأهدافه:

تشير الدراسات السابقة إلى أن البحث عن مركبات خاصة بإنتاج الخشب الصناعي مازال إلى وقتنا الحالي قيد

الدراسة، واستناداً إلى ذلك فإن هدف بحثنا يكون تحضير خشب صناعي من البولي استر غير المشبع مع نفايات

خشب صناعي تمثل بقايا ورش النجارة .

تختلف أنواع الخشب الصناعي فيما بينها بخواصها النهائية ،ويعود السبب في هذا الاختلاف لمصادر النفايات

العضوية المستخدمة ونوعيتها، واختلاف بارامترات عملية التصنيع ،ونوعية المادة الرابطة البولييميرية (بلاستيك حراري -

متصلب حرارياً) وهذه الأسباب مجتمعة وفرت طيفاً واسعاً من الأنواع [10,11].

ويمكن تلخيص أهمية البحث وأهدافه بالنقاط التالية :

1-دراسة خاصية الامتصاصية التي تعتبر من الخواص الهامة التي تلعب دوراً هاماً في تغيير الخواص .

2-دراسة سلوك امتصاص الماء عند درجة حرارة الغرفة .

3-تمذجة سلوك امتصاص الماء بتحديد الثوابت التي تعبر عن خاصية الامتصاصية مثل k ، n ، D .

4-الحصول على التغيرات الحاصلة بالبنية النهائية للمنتج .

ويهدف البحث الحصول على نوع من أنواع الخشب الصناعي .

طرائق البحث ومواده:

1-المادة البلاستيكية الرابطة : تم استخدام البولي استر غير المشبع كمادة رابطة إنتاج المملكة العربية

السعودية

TOPAZ-1600 AT (H.G.T) (MARBLE GRADE (LOW EXOTHERM) PRE-ACCELERATED)

وفق المواصفات في الجدول (1):

الجدول (1):المواصفات الفيزيائية للبولي استر غير المشبع المستخدم.

الحالة الفيزيائية	سائل شفاف
اللون	اصفر
الرائحة	لاذعة
الكثافة عند 30°C	650-450 kg/cm ³
نقطة الوميض	34°C
نقطة التجلت	Minutes 15-20

2-المادة المائنة : نفايات ورشات النجارة الناتجة عن عمليات تشكيل المنتجات الخشبية كمادة مائنة عضوية

حيث استخدمت بودة الخشب بأنواع مختلفة وبأقطار مختلفة .

تم تشكيل ثلاث مجموعات من العينات المحضرة جميعها محضرة من البولي استر غير المشبع (UPR) كمادة

أساس رابطة وتختلف فيما بينها بقطر الحبيبات ونوع المالى العضوي وبناء على ذلك تم تصنيف العينات المحضرة

بالمخبر على الشكل التالي :

- مجموعة بودة خشب الزان ذات القطر الوسطي $0.125 < D < 0.2$.

- مجموعة بودة خشب الزان ذات القطر الوسطي $0.2 < D < 0.3$.

- مجموعة بودة الخشب من النوعالمختلط من حيث بودة الخشب وأقطار الجزيئات .

تضم كل مجموعة من هذه المجموعات 3 عينات وفق النسب الوزنية التالية :

- UPR + 150% مالى عضوي.

- UPR + 200% مالى عضوي.

- UPR + 250% مالى عضوي.

شكلت هذه العينات باستخدام مكبس تشكيل نصف هيدروليكي موضح بالشكل (3) وفق النظام التالي:

1- درجة حرارة نصفى قالب $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. 2- ضغط التشكيل الابتدائي $P = 10 \text{ Kg/cm}^2$. 3- زمن تطبيق

الضغط الابتدائي 3min . 4- ضغط التشكيل النهائي $P = 85 \text{ Kg/cm}^2$. 5- زمن تطبيق الضغط النهائي 7min .

6- في نهاية دورة التشكيل تم تبريد قالب التشكيل بقاء الضغط النهائي مطبقاً حتى الوصول إلى درجة حرارة يمكن

خلالها نزع المنتج النهائي دون حدوث تشوه فيه.



الشكل (3) - مكبس تشكيل نصف هيدروليكي

b- طريقة إجراء التجارب:

1- تم حساب الكثافة: باقتطاع عينات من الألواح المحضرة بالمخبر وذلك لمعرفة فيما إذا كانت الألواح المشكلة خفيفة أم ثقيلة وهل تقترب كثافتها من كثافة الأخشاب الطبيعية أم لا . تم حساب الكثافة بالعلاقة (1):

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

حيث أن: m: كتلة العينة المقتطعة

V: حجم العينة وقد حسب بعد إجراء القياس الدقيق لأبعاد العينات المقتطعة بواسطة بياكوليس رقمي

بدقة 0.01 mm .

2- اختبار الامتصاصية قصيرة الأمد (Short – Time Absorption).

أجري اختبار الامتصاصية على العينات المحضرة لمدة قصيرة (24 ساعة، 48 ساعة). قطعت عينات اختبار الامتصاصية من الألواح المحضرة على مكبس التشكيل بأبعاد 2.2cm وقيست أوزان العينات قبل الغمر بالماء لمعرفة نسبة الامتصاصية الحاصلة بعد الغمر خلال الأزمنة المشار إليها أعلاه وحسبت النسبة المئوية للامتصاصية بالعلاقة (2):

$$W(\%) = \frac{W_2 - W_1}{W_1} . 100 \dots \dots (2)$$

حيث أن: W₁: وزن العينة قبل الغمر بالماء (gr) . W₂: وزن العينة بعد الغمر بالماء (gr)

W: نسبة الامتصاصية (%).

3- اختبار الامتصاصية طويل الأمد:

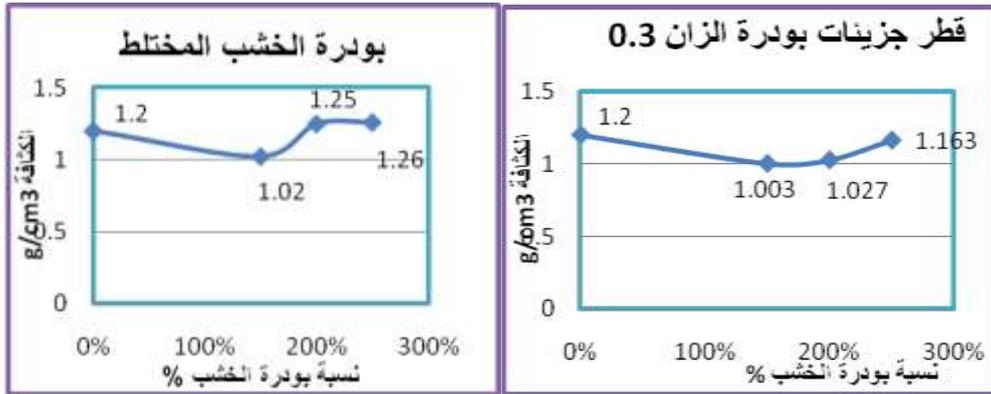
ومن أجل ذلك غمرت عينات الاختبار في ماء عذب غير مقطر لمدة ثلاثة أشهر.

النتائج والمناقشة:**a- منحنيات تغير الكثافة :**

أظهرت نتائج قياس الكثافة للعينات المدروسة في هذا البحث قيم متباينة ويمكن تفسير هذا استناداً للاختلاف الواضح في كثافات المواد المألوفة المستخدمة.

كما هو معلوم [2] تبلغ كثافة بوردة الخشب حوالي (1.5 g/cm^3)، في حين تبلغ كثافة الأنواع الأخرى للمواد المألثة ذات الأبعاد الكبيرة المختلفة للجزئيات (متوسطة - طويلة - عشوائية) قيم كثافة الخشب المستمدة منها والتي تتراوح عادة بين $(0.4 - 0.8) \text{ g/cm}^3$. فإذا علمنا أن كثافة العينات المصنوعة فقط من البولي استر غير المشبع تبلغ 1.2 g/cm^3 ، فإن الفرق الواضح بقيمة كثافة المادة الرابطة والمواد المألثة المستخدمة أعطى سلوكيات مختلفة لمسارات منحنيات الكثافة بدلالة المائي العضوي.

يبين الشكل (4) منحنى تغير كثافة عينات مصنوعة من البولي استر غير المشبع مع نسب مختلفة من نفايات بوردة الخشبالمختلط حيث نلاحظ تغير طفيف على الكثافة مقارنة مع مادة الأساس. كما هو واضح من الشكل (4) تتناقص الكثافة بزيادة نسبة المائي العضوي من 1.2 g/cm^3 عند النسبة 0% للمائي العضوي لتصبح مساوية 1.02 g/cm^3 عند النسبة 150% ثم تتزايد إلى 1.25 g/cm^3 عند النسبة 250%. يمكن تفسير هذه النتيجة استناداً للاختلاف في قيم الكثافة بين المائي العضوي ومادة الأساس الرابطة الأمر الذي يوضح تزايد كثافة المركبات بزيادة نسبة مادة الحشو. من خلال النتائج التي توصلنا إليها يمكن القول أن كافة المركبات المبينة بالشكل (4) تنتمي من حيث التصنيف إلى الأخشاب القاسية العالية الكثافة وفق التصنيف الوارد في [12].



الشكل (4) - منحنى تغير الكثافة لمركبات محضرة من البولي استر غير المشبع مع نسب مختلفة من بوردة الخشب المختلط
الشكل (5) - منحنى تغير الكثافة لمركبات محضرة من البولي استر غير المشبع مع نسب مختلفة من بوردة خشب الزان بقطر 0.3

أظهرت قياسات الكثافة التي أجريت على عينات مؤلفة من البولي استر غير المشبع وجزئيات بوردة خشب الزان 0.3 فروقات قليلة بقيم الكثافة مقارنة مع كثافة مادة الأساس الرابطة كما هو موضح بالشكل (5)، حيث نلاحظ حدوث انخفاض طفيف بكثافة العينات من 1.2 g/cm^3 عند النسبة 0% لجزئيات بوردة الخشب لتصبح 1.003 g/cm^3 عند النسبة 150% لتعود بعد ذلك للارتفاع مقترية من كثافة مادة الأساس 1.163 g/cm^3 عند النسبة 250%.

تظهر النتيجة المبينة بالشكل (5) أن قيم الكثافة تجعل هذه المركبات تنتمي للأخشاب الصناعية القاسية حسب [12]، وأن إضافة نفايات بوردة خشب الزان 0.3 حتى النسبة 150% يظهر انخفاض طفيف بقيم الكثافة بشكل عام. كما تظهر النتائج إمكانية إنتاج طيف واسع من المركبات المساوية لكثافة مادة الأساس تقريباً.

يوضح الشكل (6) منحنى تغير الكثافة للمركبات المكونة من مادة الأساس الرابطة البولي استر غير المشبع مع نسب مختلفة من المادة المألثة المؤلفة من بوردة خشب الزان 0.125 ، وكما هو واضح من الشكل حدوث

تزايد طفيف بقيم الكثافة عند النسبة 150% لتعود هذه القيم للانخفاض الحاد لتبلغ قيم منخفضة 1.17g/cm^3 عند النسبة 250% مادة مألثة.



الشكل (6) - منحنى تغير الكثافة لمركبات محضرة من البولي استر غير المشبع مع نسب مختلفة من بوردرة الخشب الزان 0.125

تشير النتائج المبينة بالشكل (6) إلى إمكانية إنتاج طيف واسع من الألواح تتدرج فيها الكثافة من الألواح العالية الكثافة حتى النسبة 150% إلى الألواح الأقل كثافة عند النسبة 250% وجميعها تنتمي إلى الألواح الأخشاب الصناعية القاسية كما وارد في التصنيف [12].

إن البحث عن أحجام محددة لجزيئات المالى العضوي يزيد من تكاليف العملية الإنتاجية بسبب زيادة مراحل الإنتاج. وبما أن الهدف الأساسي هو الحصول على منتجات خشب صناعي من نفايات (البلاستيك- مالى عضوي) فإن البحث اقتضى ضرورة استخدام نفايات عشوائية بأحجام متباينة دون القيام بأية عملية فرز دقيق حيث استخدمت عملية فرز بسيطة باستخدام المناخل اليدوية .

أظهر العمل التجريبي إمكانية استخدام مثل هذه النفايات العضوية العشوائية والحصول على منتجات بخواص يمكن اعتبارها جيدة، لبقاء عينات الاختبار متماسكة بعد زمن غمر بالماء تجاوز 150 يوم، كما أظهر العمل أيضاً أن النسبة العظمى للمالى العضوي التي يمكن استخدامها وفق طريقة التحضير الواردة في الجزء العملي تبلغ 350% لبعض أنواع المالى العضوي، ولأنه عند استخدام نسب عالية، وهو هدف رئيسي في عملنا، فإن الحصول على عينات متماسكة وذات خواص مقبولة بنفس ظروف التشكيل كان صعباً لبعض الأنواع التي لم يتم ذكرها خلال هذه الدراسة. وبما أن الهدف التجريبي لهذا البحث هو الحصول على منتجات بأقل كلفة فإن زيادة نسبة المالى العضوي لنسبة أكبر من المذكورة يتطلب إجراءات تحضيرية للمركبات قبل التشكيل تزيد من الكلفة الاقتصادية.

وإن نتائج قياسات الكثافة لكافة العينات السابقة المذكورة في الأشكال (2,3,4) أظهرت مدى الطيف الواسع من ألواح الخشب الصناعية القاسية التي يمكن الحصول عليها من هذه المركبات، فإذا علمنا أن كافة هذه العينات قد تم تحضيرها بظروف تشكيل ثابتة وفق الخطوات المذكورة في القسم العملي أصبح واضحاً إمكانية تصنيع ألواح بكثافات تتدرج فيها قيم الكثافة $(1.003-1.286)\text{g/cm}^3$.

b- منحنيات اختبار الامتصاصية قصيرة الأمد (Short – term water absorption):

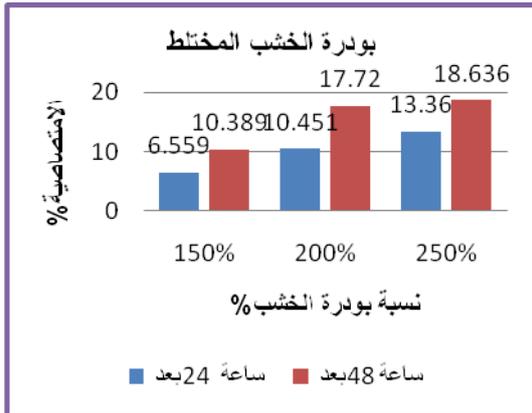
تهدف دراسة الامتصاصية للماء لمدة قصيرة إلى إجراء تقييم سريع لمقاومة العينات المصنعة لتأثير الماء، ويعتبر هذا الاختبار من الاختبارات السريعة التي تجرى على الأخشاب الصناعية، وهي معتمدة كاختبار واجب الإجراء في المواصفات القياسية العالمية الخاصة بالأخشاب الصناعية كإحدى الاختبارات الفيزيائية لهذه الأخشاب [12].

يتوافق هذا الاختبار عادة مع قياس الانتباج أو التزايد الحاصل في السماكة (Thickness Swelling) بهدف قراءة التغيرات اللاعكوسها المحتملة الحصول بالأبعاد لهذه الأخشاب.

من الأشكال (7,8,9) نلاحظ ما يلي:

1- الألفة الكبيرة للماء التي تبديها المركبات السيللوزية يفسر تزايد النسبة المئوية للامتصاصية بزيادة نسبة المائي ويزيادة زمن الغمر بالماء.

2 - انخفاض القدرة التغليفية والترطيبية لمادة الأساس بزيادة نسبة المادة المائنة يفسر تزايد مقدار الامتصاصية بزيادة نسبة المائي العضوي.



الشكل (7) - مقدار الامتصاصية بالماء العذب لعينات مصنعة من البولي استر بدلالة نسبة بودة الخشب المختلط البولي
الشكل (8) - مقدار الامتصاصية بالماء العذب لعينات مصنعة من استر بدلالة نسبة بودة خشب الزان بقطر 0.125

أظهرت نتائج الامتصاصية حدوث تباين واضح بقيم الامتصاصية باختلاف حجم جزيئات المائي العضوي ونوعه كما هو مبين بالشكلين (9) نتائج الامتصاصية السريعة عند استخدام جزيئات بودة الخشب الزان ذات قطر 0.3 في الماء العذب ، وكما هو واضح أن قيم الامتصاصية تبلغ مستويات عالية عند النسبة 250% حيث تتجاوز الامتصاصية تقريباً 27% بعد زمن غمر 48 ساعة بالماء. إن هذه النتيجة تشير إلى أن القدرة التغليفية لمادة الأساس ضعيفة ولا تمتلك القدرة على تحقيق التماسك اللازم بين كافة جزيئات المائي العضوي، وتعود للمركبات الحاوية على نسب عالية للمائي العضوي.

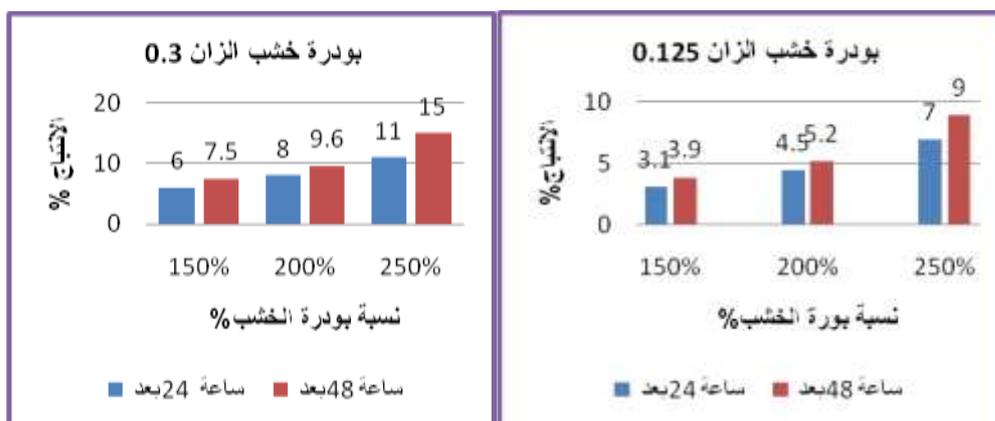


الشكل (9) - مقدار الامتصاصية بالماء العذب لعينات مصنعة من البولي استر بدلالة نسبة بودة خشب الزان 0.3

بشكل مشابه أجريت قياسات الامتصاصية السريعة على عينات حاوية على بودرة الخشب المختلط. كما هو واضح من الشكل (7) أن متوسط الامتصاصية بالماء العذب بعد مرور 48 ساعة تبلغ تقريباً 18.63% للنسبة 250% مادة مائة، كما ويظهر الشكل (8) تغير قيم الامتصاصية بدلالة نسبة المائي العضوي الممتلجزيئات بودرة خشب الزان ذات القطر 0.125. كما هو واضح من الشكل أكبر قيم للامتصاصية تصل إليه النسبة 250% حيث تبلغ القيمة الوسطى للامتصاصية 25% في الماء العذب بعد مضي 48 ساعة على الغمر بالماء.

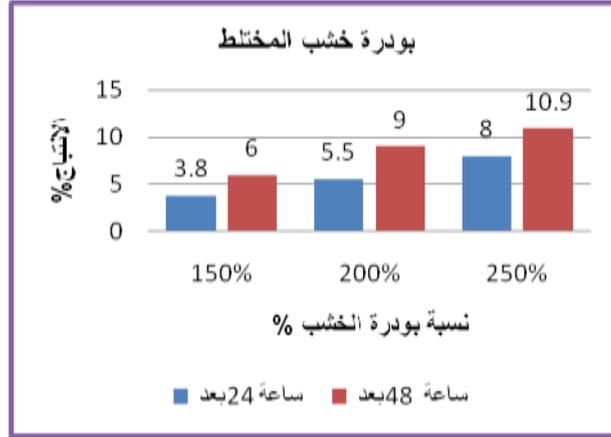
c- منحنيات الانتباج الحاصل بالسماكة لمدة قصيرة:

تشكل التغيرات بأبعاد عينات الخشب الصناعي نتيجة الامتصاصية للرطوبة أو الغمر بالماء إحدى البارامترات اللازم قراءتها ، فالانتباج (Thicknes Swelling) الحاصل بالسماكة نتيجة الامتصاصية يعتبر من البارامترات الأساسية اللازم تحديدها لأنها تشكل تغيرات لا عكوسه بالحجم. تتم عملية الانتباج عادة عند وضع عينة اختبار جافة في بيئة رطبة أو بالغمر بالماء، حيث تبدأ المادة السائلة بالانتشار، وانتقال الماء الممتص أو الرطوبة بالتدرج من السطح الرطب باتجاه المناطق الجافة في العينية. يرافق هذه العملية تشكل إجهادات عند المناطق الحدودية الفاصلة بين الطبقة الرطبة والجافة نتيجة الانتفاخ التدريجي للمناطق الرطبة. تسبب القوى الداخلية المتشكلة داخل عينة الاختبار تشكل إجهادات داخلية. تساهم محصلة القوى الداخلية الناشئة عن عملية الامتصاص بإحداث الانتباج الحجمي بشكل تدريجي حتى الوصول لحالة الإشباع.



الشكل (10) مقدار الانتباج بالسماكة بالماء العذب لعينات بودرة خشب الزان 0.3 لمدة قصيرة

الشكل (11) مقدار الانتباج بالسماكة بالماء العذب لعينات بودرة خشب الزان 0.125 لمدة قصيرة



الشكل (12) مقدار الانتاج بالسماكة بالماء العذب لعينات بودة الخشب المختلط لمدة قصيرة

بنتيجة هذا الاختبار تبين أن قيم الانتاج بالسماكة تزداد بزيادة نسبة المالى العضوي حيث يلاحظ أن أكبر القيم تملكها النسب العالية أما أدنى هذه القيم تعود للمركبات الحاوية نسب اقل للمالى العضوي. من الأشكال (10,11,12) نجد أن قيم الانتاج بعد مدة 48 ساعة، لكافة العينات نتيجة الغمر بالماء العذب مقبولة بالمقارنة مع قيم الانتاج للأخشاب الصناعية وفق التصنيف الوارد في (12)، وتكون قيم الانتاج أعظمية عند النسب العالية حيث تبلغ 15% للمركبات الحاوية على 250% بودة خشب زان (0.3)mm عند الغمر بالماء العذب. بنفس الأسلوب تم دراسة تأثير نسبة المالى العضوي على انتاج السماكة لعينات بودة الخشب المختلط و بودة خشب الزان 0.125 كما هو واضح بالشكلين (11 و 12) مقدار الانتاج بالسماكة للعينات الحاوية على نسب مختلفة من بودة خشب الزان 0.125 وبودة الخشب المختلط. كما هو واضح فان أكبر قيم الانتاج بالسماكة تبلغها المركبات الحاوية على نسب كبيرة للمالى العضوي حيث تبلغ قيمة الانتاج 9% عند الغمر بالماء العذب للعينات الحاوية على بودة خشب الزان 0.125 و 10.9% للعينات الحاوية على بودة الخشب المختلط بمقارنة هذه النتيجة مع نتائج المركبات الحاوية على بودة الخشب نرى أن زيادة حجم المالى العضوي يؤدي إلى زيادة قيم الانتاج في الماء العذب. يتضح أيضاً من الشكل (10) أن أعظم قيمة للانتاج وفقاً للسماكة تمتلكها عينات بودة خشب الزان 0.3 حيث تبلغ 11% عند النسبة 250% بعد مدة غمر 24 ساعة و 15% بعد 48 ساعة و هي أعلى من مثيلتها في حالة عينات بودة خشب الزان 0.125 بمقدار لا يستهان به، وفي حالة استخدام بودة الخشب المختلط فإن قيمة الانتاج عند نفس النسبة تبلغ 8% بعد 24 ساعة و 10.9% بعد 48 ساعة كما يتضح من الشكل (12)

C- منحنيات الامتصاصية طويلة الأمد:

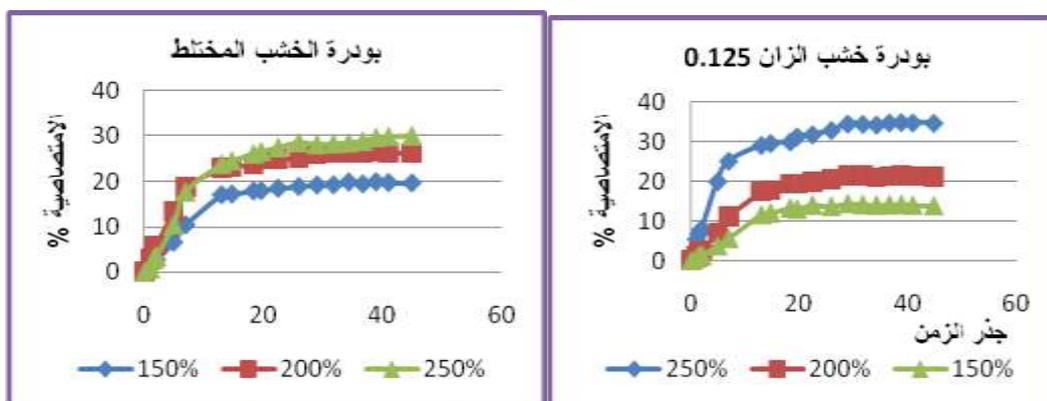
تمثل الأشكال (13,14,15) منحنيات الامتصاصية للعينات المحضرة بالبحث و الحاوية على نسب مختلفة حتى 250% مالى عضوي. كما هو واضح أن السلوك العام لمنحنيات الامتصاصية في الماء العذب متشابهة بشكل عام على الرغم من اختلاف حجم المالى، وأن كافة العينات تصل تقريبا لحالة الإشباع بعد انقضاء زمن غمر قدره 150 يوم.

نلاحظ أيضاً من الأشكال (13 و 14 و 15) أنه يمكن تجزئة منحنيات الامتصاصية إلى المراحل التالية:

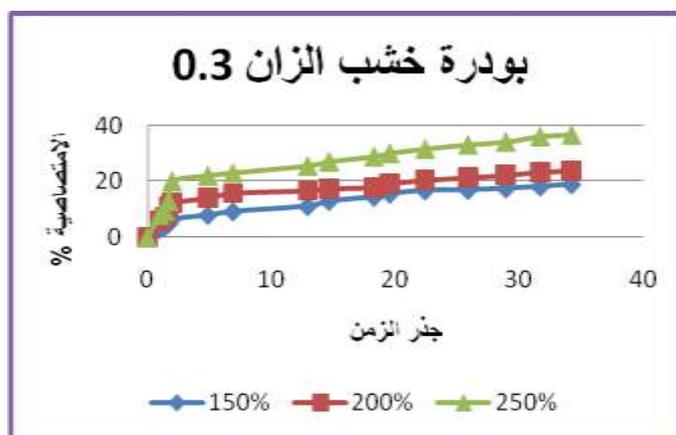
1 - مجال ابتدائي خطي واضح خلال الأيام الأولى لعملية الغمر، ويظهر هذا المجال بوضوح عند النسب

المرتفعة للمالى العضوي.

- 2 - مجال ثاني انتقالي لا خطي صغير يلي المجال الأول تكون فيها العلاقة أسية .
- 3 - مجال ثالث تميل فيه قيم الامتصاصية للتزايد بشكل خطي تقريباً ولكن بشكل بطيء جداً .
- بالأخذ بعين الاعتبار أن الامتصاصية تمت من سطح عينات الاختبار عند الغمر الكامل بالماء يمكن القول أن قيم الامتصاصية مقبولة بالنسبة لكافة المركبات المدروسة ماعدا جزيئات بودرة خشب الزان ذات القطر 0.3 وخاصة إذا ما قورنت قيم الامتصاصية التي حصلنا عليها مع القيم العائدة للألواح القاسية حسب المواصفة القياسية الأمريكية مع العلم أن سماكة العينات المحضرة بالمخبر تقع ضمن المجال (3-4) mm .
- من الضروري ذكره أيضاً أن كافة عينات الاختبار بقيت متماسكة وحافظت على متانة جيدة على الرغم من زمن الغمر الطويل بالماء.



الشكل (13) منحني تغير الامتصاصية بالماء العذب بدلالة الزمن لبودرة لعينات الشكل (14) منحني تغير الامتصاصية بالماء العذب بدلالة الزمن لعينات بودرة لعينات الخشب المختلط

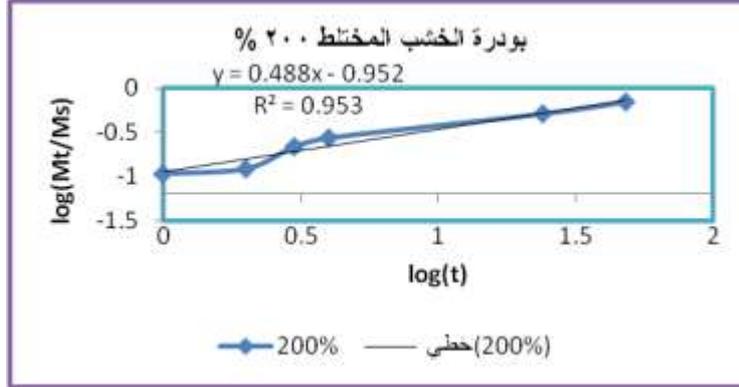


الشكل (13) منحني تغير الامتصاصية بالماء العذب بدلالة الزمن لعينات بودرة خشب الزان 0.3

ومن خلال منحنيات الامتصاصية الطويلة الأمد يتم نمذجة آلية الانتشار. إن الأشكال (13 و14 و15) تمثل منحنيات الامتصاصية من اجل بودرة خشب (الزان 0.125-الزان 0.3-والمختلط) عند الغمر بالماء العذب عند درجة حرارة الغرفة. إن كل نقطة من المنحنيات تمثل متوسط ثلاث عينات وزمن الغمر حوالي 4 أشهر. يتم إيقاف التجارب عندما تصل العينات لحالة التوازن تقريباً. الامتصاصية غير مصحوبة بأي ضرر مرئي في المادة ماعدا تغير لون العينات وملاحظة تعكر المياه بعد مرور مدة 1.5 شهر. الواضح من الأشكال (13 و14 و15) إن سلوك الانتشار

يكون خاضع لقانون فيك أو يشذ قليلاً عنه عند العينات المصنوعة من بودة خشب الزان 0.125 عند النسبة (150%-200%) وفي عينات بودة خشب الزان 0.3 عند النسبة 250% أما عينات بودة خشب المختلط عند النسبة (150%-250%) .

ومن اجل تحديد فيما إذا كان سلوك الامتصاص لهذه العينات يتبع سلوك الانتشار فيك سوف يتم حساب كل من n, k من خلال المنحنيات المعبرة عن العلاقة بين $\log(Mt/MS)$ مقابل $\log(t)$. يبين الشكل (14) التالي مثالاً عن المنحني البياني ل $\log(Mt/MS)$ مقابل $\log t$ من اجل عينات بودة الخشب المختلط عند النسبة 200%،

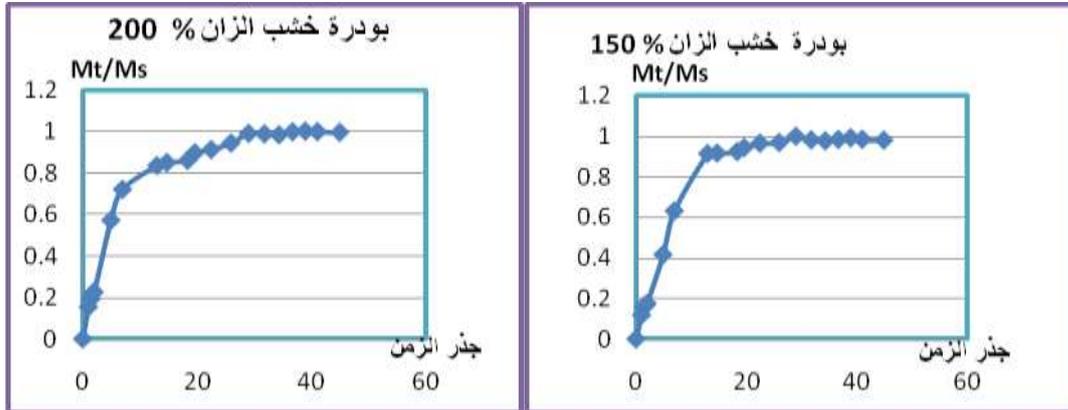


الشكل (16) منحني العلاقة الواصف لسلوك الانتشار من اجل العينات المصنعة من 200% بودة الخشب المختلط

حيث أنه من الملاحظ أن مطال n من اجل السلوك الفيكي يختلف من 0.38 حتى 0.5. إن قيم n تحت 0.5 وحتى 0.38 تقترح أن انتشار الرطوبة ينحرف قليلاً عن سلوك فيك للانتشار الذي يمكن أن يعالج على انه انتشار شاذ.

يبين الجدول (1) قيم كل من n, k, R^2, Ms ويبرر سلوك انتشار فيك بالاعتماد على n وعلى النسبة Mt/MS . حيث يتم حساب كل من n, k من المعادلة رقم (1).

يبين الشكل التالي (17) مثالاً عن المخطط Mt/MS مقابل \sqrt{t} والمستخدم من اجل فحص خطية المنحنيات عند $Mt/MS \leq 0.6$. أما الشكل (18) هو المنحني البياني ل Mt/MS مقابل \sqrt{t} من اجل إظهار الانحراف عن سلوك انتشار فيك.



الشكل (18) المنحني الذي يتم فحص خطية المنحني تحت تحت القيمة $Mt/MS \leq 0.6$ والذي يختلف عن سلوك فيك

الشكل (17) المنحني الذي يتم فحص خطية المنحني القيمة $Mt/MS \leq 0.6$ موافق لسلوك فيك

من الشكل (17) نلاحظ أن المنحني البياني خطي حتى القيمة $Mt=0.6Ms$ ولكن الشكل (17) يبين أن المنحني البياني خطي عند قيمة Mt الأقل من $0.6Ms$. وبالتالي فإن سلوك الامتصاص لعينات بودرة خشب الزان يتبع السلوك الانتشار حسب Fick عند نسبة مائي عضوي قدره 250% وتتحرف عنه عند نسبة مائي عضوي قدره (150%-200%).

وبنفس الأسلوب تم اتباعه من اجل معرفة سلوك الانتشار في باقي العينات وتم إظهار النتائج في الجدول (1).

كذلك يتم قياس سلوك الامتصاص في العينات من خلال مصطلح آخر مثل معامل الانتشار D . حيث D يعبر عن قياس لقدرة جزيء الماء على التحرك والتغلغل عبر سطح العينات . ومن أجل الانتشار أحادي البعد عبر صفيحة مستوية بسماكة h فإن قانون فيك الثاني المبين بالمعادلة (5). حيث يبين الجدول (2) قيم D لكل العينات المدروسة في هذه المقالة ونلاحظ أن معامل الانتشار يزداد مع زيادة المائي العضوي (بودرة الخشب).

بعد 2016، ساعة فان كمية الرطوبة تستمر بالزيادة ولكن تبقى قرب الإشباع ونلاحظ أن Ms تزداد مع زيادة نسبة المائي العضوي وزيادة قطر بودرة الخشب وهذا ملاحظناه في نتائج الامتصاصية لعينات بودرة خشب الزان .

الجدول (2): جدول يظهر نوع الانتشار ومعامل الانتشار :

		$\frac{Mt}{Ms} = k t^n$			$Mt/Ms=0.6$	$D \times 10^{-12}$ m ² /s	Fickian or not-fickian
		N	k	R ²			
مختلط	%150	0.528	-1.3	0.943	لا	6.8185	Fickian
	%200	0.488	-0.932	0.953	نعم	7.5736	Fickian
	%250	0.722	-1.412	0.931	لا	11.039	Non-fick
زان 0.3	%150	0.383	-1.115	0.951	نعم	2.932	Fickian
	%200	0.428	-0.802	0.988	نعم	3.2699	Fickian
	%250	0.335	-1.033	0.921	لا	5.1539	Non-fick
زان 0.125	%150	0.546	-1.335	0.993	لا	2.1226	Non-fick
	%200	0.517	-1.23	0.985	نعم	2.776	Fickian
	%250	0.418	-0.846	0.988	نعم	5.994	Fickian

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تظهر نتائج حساب الكثافة مدى الطيف الواسع من الألواح الصناعية القاسية التي يمكن الحصول عليها من هذه المركبات، فإذا علمنا أن تحضير العينات تم بظروف تشكيل ثابتة أصبح من الواضح إمكانية تصنيع هذه الألواح.
- 2- أفضل النتائج كانت لبودرة الخشب المختلط التي لم تخضع لعملية فرز وبالتالي تقلل من تكلفة الإنتاج وهي إحدى الغايات المرجوة .

- 3-تزداد نسبة الامتصاصية بزيادة كل من زمن الغمر ونسبة المالى العضوي وأبعاده وهذا يعني انه يجب الابتعاد قدر الإمكان عن الألواح ذات النسب والأبعاد الكبيرة للمالى العضوي عند استخدام هذه الألواح في بيئة رطبة .
- 5-تظهر الدراسة إمكانية استخدام نفايات بودة الخشب بأقطار مختلفة ، وأن كل قطر للمادة المألثة يجعل المنتج ذو خواص نهائية خاصة به.

التوصيات:

- 1-دراسة تأثير بارامترات دورة تشكيل على خواص العينات المدروسة .
- 2-إجراء عملية معالجة لجزيئات المالى العضوي لتحسين قوى الارتباط بين مادة الأساس والمادة الرابطة.

المراجع :

- 1-CHIPER, A. M.; NEMES, O.; SOPORAN, V. F.; RUS. A. R.. *Composite Plates From Wood-Flour, International Conference Advanced Composite*. Materials Engineering, vol.3, 2010, 28-38.
- 2 – E. ЕНЧЕВ; Г . БЛЬСКОВА . *ДЪРВЕЧНО-ЗНАНИЕ*.ЗЕМИЗДАТ, СОФИЯ, 1989 , 336.
- 3 – KIAEIFAR, A .; SAFFARI, M.; KORD, B..*Comparative Investigation on The Mechanical Properties of Wood Plastic Composites Made of Virgin and Recycled Plastics and World Applied Sciences Journal* – 2011,14(5),735-7384 – BLEZKI, A. K.; REIHMANE, S.; GASSAN, J ..*Thermoplastics reinforced with wood fillers - A literature revie Polymer*. Plastics Technology and Engineering. Vol 37, 1998,451-468.
- 5 –LEI, Y.; W. QINGLIN; X. YANJUN .*Preparation and properties of recycled HDPE/natural fiber composites*. *CompositesPart A. applied science and manufacturing*,38.7,2007, 1664-1674.
- 6- LOH,W. K. ; CROCOMBE,A.D.;WAHAB, M. A..*Modelling anomalous moisture uptake, swelling and thermal characteristics of arubber toughened epoxy adhesive*. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 25(1), 2005, 1-12.7-BHASKAR, J. ;SINGH, V. K..*Water Absorption and Compressive Properties of Coconut Shell Particle Reinforced Epoxy Composite*. *Mechanical Engineering Harcourt Butler Technological Institute*, 4(1), 2013, 113-118.8 –POO, C.; CHARLIE, T.; JOHN,A.; JIM,H.M.; ANDREZEJ,M.K..*Fasteners Resistance of Non-Woven and Melt-Blended Composite Made From Cornstalk Fibers and Recycled Plastic* . *International Wood and Natural Fiber Composites Symposium April, 10(11), 2002 in Kassel/Germany*. 9 – NAJAFI, A.; KHADEMI, E. H.. *Lignocelluloses Filler / Recycled HDPE Composites Filler Type on Physical and Flexural Properties,bioreources*. 6(3),2011, 2411-2424.
- 10 – Muehl, J. H. ;Krazysik, A.; CHOW, P..*Composite Panels Made with Biofiber or Office Wastepaper Bonded with Thermoplastic and/or Thermosetting resin*. *Department of Agriculture , Forest Products Laboratory.vol.294, 2004. 1-6.* 11 – BEKALO, S. A.; REINHARDT, H. W..*Fiber of Coffee and Husk and Hulls for Production of Particleboard*. *Materials and Structure*, 43(8), 2010, 1049-1060.12 –SUCHSLAND, O.; WOODSON, G. E .. *Fiberboard Manufacturing in the United State*. *Agriculture Handbook* 640,1987.