

## دراسة الخواص الحرارية والميكانيكية للمادة المركبة (قش القمح \_ بولي استر غير المشبع) لاستخدامها كعازل حراري في المنشآت الزراعية

د. م وسيم مرشد \*

د. م محسن ابراهيم \*\*

م. ميرنا حسامو \*\*\*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٥/٨/٧ . قُبل للنشر في ٢٠٢٥/١١/١٨)

□ ملخص □

تم في هذا البحث دراسة الخواص الحرارية والميكانيكية مثل (الموصلية الحرارية، مقاومة الضغط، مقاومة الصدم، الكثافة، امتصاص الرطوبة) لقطع من قش القمح محضرة عن طريق ضغط القش المجفف وإضافة مادة رابطة (بولي استر غير المشبع)، وكبسها بالمكبس عند ضغوط مختلفة للوصول إلى الشكل النهائي للقطع، ثم تغليفها برولات التغليف (أكياس بولي أوليفين) لزيادة عامل الأمان من العوامل الخارجية، ثم أخذ عينتان بسماكتين مختلفتين العينة الأولى ذات السماكة (4 cm) □□□□، والعينة الثانية ذات السماكة (2 cm) □□□□، وتم دراسة خصائصها كمادة عازلة جيدة في المحافظة على الظروف المناسبة داخل المنشآت الزراعية.

أوضحت التجارب أن العينة المحضرة ذات السماكة (4cm) أعطت قيمة موصلية حرارية أخفض [  $\lambda = 0.347 [w/m.c^{\circ}$ ، ومقاومة الانضغاط أعلى بالاتجاهين الأفقي والعمودي، ومقاومة الصدم أعلى، ونسبة رطوبة أقل بنسبة (42.24%)، وكثافة أقل مقارنة بالعينة ذات السماكة (2cm)، وذلك بسبب زيادة ألياف القش وكثافة المادة وتربطها والتوزيع المتجانس للمادة مما يعيق نمو الشقوق وانتشارها ويؤدي إلى ملء الفراغات البيئية بشكل محكم، كما لوحظ انخفاض مقاومة العينة المعرضة للضغط العمودي بشكل أكبر من الأفقي، حيث مقطع العينة أقل وأكثر استجابة لحدود التشقق وانتشاره بشكل كبير، نتيجة انخفاض عدد الألياف التي المقاومة للحمل وانخفاض قوى الترابط بينهما.

**الكلمات المفتاحية:** العزل الحراري، بالة القش، بولي استر غير مشبع، الخصائص الحرارية والميكانيكية.

\*أستاذ مساعد قسم المكننة الزراعية في كلية الهندسة التقنية- جامعة طرطوس.

\*\*مدرس في كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس.

\*\*\*مهندسة تقنية اختصاص مكننة زراعية- حاصلة على رسالة الماجستير في المكننة زراعية - جامعة طرطوس.

## Study of the mechanical properties of straw pieces as a good thermal insulator

Eng.Mirna Hossamo\*

Dr.Eng.Wassem Murshid\*\*

Dr.Eng.Mohsen Ibrahim\*\*\*

(Received 7/8/2025 . Accepted 18/11/2025)

### □ ABSTRACT □

In this research the thermal and mechanical properties such as (thermal conductivity, compressive strength, impact resistance, density, moisture absorption) of wheat straw pieces prepared by compressing dried straw and adding a binding material (unsaturated polyester), and pressing them with a press at different pressures to reach the final shape of the pieces, then wrapping them with a packaging rolls (polyolefin bags) to increase the safety factor from external factors, then two samples were taken with different thicknesses, the first sample with a thickness of (4cm), and the second sample with a thickness of (2cm), and there properties were studied as a good insulating material in maintaining the appropriate conditions inside agricultural facilities. Experiments showed that the prepared sample with thickness (4cm) gave the lowest thermal conductivity value of (0.347 w/m.°c) the highest compressive strength in both horizontal and vertical directions, the highest impact resistance, a moisture content lower by (42.24%), and lower density compared to the sample with thickness (2cm). This is due to the increased in straw fibers, the density and cohesion of the material, and the homogeneous distribution of the material, which hinders the growth and spread of cracks and leads to the tight filling of the interstitial spaces. It was also observed that the resistance of the sample subjected to vertical pressure decreases more than that of the horizontal sample. As the sample cross-section is smaller and more responsive to the cracking boundaries and propagation, due to the reduced number of load-bearing fibers and the reduced bonding forces between them.

**Key words:** Thermal insulation –straw Bale – Unsaturated polyester – Thermal and Mechanical properties .

---

\*Assistant professor Department of Agricultural Mechanization Engineering college of Technical Engineering, University of Tartous.

\*\*Instructor at the college of Technical Engineering, University of Tartous.

\*\*\*Technical Engineer, Agricultural Mechanization specialization-Master's degree in Agricultural Mechanization, University of Tartous.

## 1. المقدمة:

تعتبر الخواص الميكانيكية للمواد العازلة، ذات أهمية بالغة في تحديد كفاءة العزل الحراري للمباني. وهذه الخواص تحدد قدرة المادة على مقاومة الظروف البيئية، مما يضمن استقرارها ومثابقتها على المدى الطويل. فالمواد التي تتمتع بخصائص ميكانيكية جيدة تكون قادرة على تحمل الأحمال الحرارية الميكانيكية المختلفة دون أن تتشوه أو تتلف، مما يحافظ على كفاءة العزل ويطيل عمره ويقلل تكلفته. ويتميز القش بطبيعته المسامية وكثافته المنخفضة وقد اعتبر مادة واعدة للعزل الحراري (Zheng et.al 2023).

أوضح (Rojas et.al 2019) في دراستهم على مواد العزل الحراري القائمة على بقايا قش القمح الزراعي والكتلة الحيوية لقشور الذرة لاستخدامها في المباني المستدامة، فكانت نتائج موصلية الحرارة للنماذج أولية قريبة من (0.046 w/m.k) وهي قيمة تقارن مباشرة بمواد عزل حراري مثل بوليسترين.

كما أوضح (Tlaji et.al 2022) في دراستهم التي قاموا بها لدراسة السلوك الحراري والميكانيكي للبناء القائم على قش، أن الموصلية الحرارية تنخفض مع زيادة كثافة البالة، وأن بالات القش تتميز بسلوك إجهاد-انفعال غير خطي عند مستويات تحميل منخفضة وسلوك متباين الخواص أعلى مع الانفعال الرأسي عندما تكون الألياف عمودية مقارنة بوضعها الأفقي، وبعد إزالة الأحمال تظهر البالات عموماً مقاومة عالية للتشوه المرن.

كما قام (Roh et.al 2023) بدراسة إمكانية قش القمح والشعير كبداية مستدامة لمواد العزل التقليدية، والتركيز على تقييم خطر نمو العفن في التجمعات الجدارية المملوءة بالقش عبر أنواع مناخية، مع مقارنة الخصائص الفيزيائية والحرارية والرطوبة والمتانة لقش القمح والشعير، وأظهرت النتائج: أن كلاً من قش القمح والشعير يظهران موصلية حرارية منخفضة، وكثافة نمو أقل للعفن، وتطبيق معالجة حمض البوريك يعزز بشكل فعال مقاومة القش للعفن دون التأثير سلباً على خصائصه الرطبة والحرارية.

كما أشار (chen et.al, 2024) بدراستهم على الأداء الرطوبي والحراري المتميز لبالات القش حيث أظهرت النتائج: أن زيادة العزل الخارجي وتقليل سمك رزم القش، سمح بسمك أقل للجدران مع الاستمرار بتلبية متطلبات العزل، وأظهر تحليل الأداء الرطوبي الحراري أن تركيبات جدران العزل المنفصلة المصنوعة من بالات القش أظهرت ثباتاً حرارياً أفضل مقارنة بجدران مرجعية مزودة بألياف زجاجية، وأظهر تحليل نمو العفن اتجاهها تنازلياً مع زيادة العزل الخارجي وانخفاض سمك العزل الداخلي.

## 2. مشكلة البحث وأهميته:

تكمن مشكلة البحث في التكلفة المرتفعة للمواد البوليمرية المستخدمة في العزل الحراري على حساب الأداء الحراري الجيد، ومن هنا تأتي أهمية البحث من ضرورة البحث عن مصادر لمادة طبيعية أقل تكلفة وذات خواص ميكانيكية وحرارية جيدة مقارنة بالمواد المتوفرة تجارياً.

## 3. هدف البحث:

يكن هدف البحث في تقييم الخصائص الحرارية والميكانيكية لمركب (قش القمح مع بولي استر غير المشبع) بسماكتين مختلفتين من خلال دراسة الخصائص التالية: الموصلية الحرارية، مقاومة الصدم، مقاومة الضغط، الكثافة، امتصاص الرطوبة، للعينات لتقييم أدائها مع الظروف المحيطة و سلامتها الهيكلية عند تعرضها للإجهاد لاختبار كفاءتها كمادة عازلة مناسبة للاستخدام داخل المنشآت الزراعية.



أ- جهاز اختبار الضغط: تم إجراء اختبار الضغط للعينات المحضرة على الجهاز الموضح بالشكل (1)، و الموجود في مختبر نقابة المهندسين/ طرطوس .



ب- جهاز

الشكل (1): جهاز الضغط المستخدم.

اختبار الصدم: إجراء اختبار  
يزود للصدم للعينات المحضرة وفق  
المواصفة العالمية (ASTM D 256M), على الجهاز الموضح بالشكل(2), والمتوفر في (كلية العلوم/ جامعة  
طرطوس).



الشكل (2): جهاز الصدم المستخدم.

ج- جهاز التجفيف: تم إجراء اختبار امتصاص الرطوبة باستخدام الجهاز الموضح بالشكل (3)، والموجود في مختبر نقابة المهندسين/ طرطوس.



الشكل (3): جهاز التجفيف المستخدم.

ء- لوح ستريوبورد: تم إجراء اختبار الموصلية الحرارية باستخدام لوح ستريوبورد [ يعد لوح الستريو بورد من مواد العزل الأكثر استعمالاً في السوق المحلية السورية وتبلغ قيمة موصليته الحرارية  $(0.04 \text{ w/m.}^\circ\text{C})$  (كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية، 2008).

#### 3.4 طرائق البحث:

#### 1.3.4 تحضير العينات وإجراء التجارب:

تم تحضير العينتين التي سيتم دراسة خصائصها الحرارية والميكانيكية بالشكل التالي:

#### (1)- العينة الأولى:

تم وضع القش المضغوط في القالب، ثم استخدمت الفرشاة لوضع المادة الرابطة بالتدرج بين صفوف القش الشكل (4-a)، بمقدار  $(1/3 \text{ kg})$  من المادة ثم سكب المادة على كامل السطح، و وضعها في المكبس مع زيادة الضغط ليصبح  $(7 \text{ bar})$  وتركها لمدة لا تقل عن  $(12 \text{ hours})$  في المكبس للتصلب  $(P= \text{const})$ ، كما هو موضح بالشكل (4).



(4-b)



(4-a)

الشكل (4): طريقة تحضير العينة الأولى.

لوحظ أنه باستخدام الضغط ( $P=7\text{bar}$ ) واستخدام الفرشاة وطريقة السكب، تم الحصول على عينة من القش بسماكة (4 cm) مترابطة بشكل جيد مع بعضها وتتمتع بصلابة جيدة.



الشكل (5): الشكل الخارجي النهائي للعينة.

(2) - العينة الثانية :

تم إعادة الطريقة الأولى مع زيادة الضغط ل (20 bar) وتركها لمدة لا تقل عن (12 hours) في المكبس، تم الحصول على عينة بسماكة (2cm) الموضحة بالشكل (6).



الشكل (6): الشكل الخارجي للعينة الثانية.

#### 2.3.4 إجراء التجارب:

##### 1.3.4 اختبار الموصلية الحرارية:

أخذت عينتان بسماكتين مختلفتين (2cm) و(4cm) لدراسة مدى فعاليتها في العزل الحراري حيث تم وضع العينة في منتصف صندوق الستريوبورد المعزول على نحو تام، وتم وضع حوضين من الماء الساخن في أحد النصفين وحوض من الماء البارد في النصف الآخر، حجمه (1L) وكثافته هي ( $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ )، وذلك لمراقبة انتقال الحرارة من الجزء الساخن إلى الجزء البارد مع مرور الزمن كما يوضح الشكل (7-a). تم إغلاق الصندوق بإحكام ووضع الموازين لقياس درجة الحرارة بحيث كل منهما أحد سطحي العينة وفق الشكل (7-b)، وأخذت القراءة في أربعة مواضع وفق الجدول (3)، وتم تسجيل القراءات مع مرور الزمن بفارق مقداره (15min)، مما يسمح بانتقال الحرارة من الطرف الساخن إلى البارد، مع تكرار التجربة ثلاث مرات، ومن خلال متوسط قيم درجات الحرارة المسجلة في التجربة تحسب قيم الموصلية للعينات.

الشكل (7-a): طريقة وضع العينة داخل الصندوق.



الشكل (7-b): طريقة وضع الموازين لقياس درجة الحرارة.

تحتسب قيمة كمية الحرارة المنتقلة (Q) عبر العينة فقط, ومن خلالها تحسب قيمة الموصلية الحرارية ( $\lambda$ ) بالعلاقة التالية: (عمران, 2021)

$$|Q| = (\lambda/\delta) * A * dt_{panel} \rightarrow \lambda = \delta * Q / (A * dt_{panel}) \quad (1)$$

حيث:

$dt_{panel}$ : فرق درجات الحرارة بين سطحي اللوح [°C]

$\delta$ : سماكة اللوح [m]

كمية الحرارة المنتقلة من السائل الساخن إلى البارد وتحسب من العلاقة: Q

$$Q = m_{cold} * C_p * \Delta t_{cold} / T \quad (2)$$

حجم الماء البارد المستخدم هو (1L) وكثافته هي ( $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$ ) بالتالي:

$$m_{cold} = \rho * V = 0.998 \text{ (kg)}$$

$C_p =$

السعة الحرارية للماء:

$$4187 \text{ [J/ kg. } ^\circ\text{C]}$$

Time = Sec

الوقت:

$$2 * 3600 = 7200$$

ولدينا قياسات العينة :  $w = 12 \text{ (cm)}$  ,  $L = 20 \text{ (cm)}$

الجدول(3): قيم المكررات لدرجات الحرارة المسجلة للتجارب بالدرجة المئوية في تجربة قياس الموصلية الحرارية للعينات المصنعة

سماكة العينة 2 cm				سماكة العينة 4 cm				الوقت، Minute
للماء الساخن T'4	الطرف الساخن T'3	الطرف لبارد T'2	للماء البارد T'1	للماء الساخن T4	الطرف الساخن T3	الطرف لبارد T2	للماء البارد T1	
86.9	52.2	47.7	6.1	87.5	48.3	45.6	5.8	0
84.4	49.9	45.8	6.9	83.1	47.6	44.4	6.0	15
81.2	47.8	44.5	7.6	78	46.7	42.7	6.4	30
78.3	45.4	43.4	7.3	72.8	45.7	40.9	6.7	45
74.0	44.4	42.3	8.6	67.8	45.1	39.5	7.1	60
69.4	43.7	41.5	9.1	63.9	44.5	38.6	7.2	75
66.2	42.5	40.8	9.6	60.9	44.1	38.0	7.4	90
62.6	41.5	40.4	9.7	59.0	43.9	37.4	7.6	105
63.6	41.2	40.1	10.1	58.9	43.9	37.3	7.6	120

#### 2.2.3.4 اختبار الصدم

تم إجراء اختبار صدم أيزود على عينات ذات أبعاد (200mm×120mm) بسماكات ( 40mm, )

سماكة العينة ( cm )	□□□□ 2 cm)	□□□□ 4 cm)
---------------------	------------	------------

(20mm) وفق المواصفة العالمية (ASTM D 256M), سرعة مطرقة الصدم (2.9m/s)، طاقة صدم النواس (المطرقة) (2J) ، وأجريت 5 مكررات في كل تجربة وأخذ متوسط القراءات.

#### 3.2.3.4 اختبار الضغط

تم إجراء اختبار الضغط بالاتجاهين الأفقي والعمودي على نوعين من العينات: العينة الأولى ذات أبعاد ( 20cm \*12cm\*4cm ) والعينة الأخرى ذات أبعاد (20cm \*12cm \*2cm).

الجدول(4): مقارنة نتائج الموصلية الحرارية للعينات المدروسة بسماكتين مختلفتين.

#### 4.2.3.4 اختبار قياس الرطوبة:

تم إجراء اختبار قياس الرطوبة على نوعين من العينات : العينة الأولى ذات أبعاد (20cm \*12cm\*4cm) والعينة الأخرى ذات أبعاد (20cm \*12cm \*2cm), ثم تم وضع العينتين في المجفف بعد وزنهما لمدة 24 ساعة على درجة حرارة 105° .

### 5. النتائج والمناقشة

#### 1.5 نتائج اختبار الموصلية الحرارية

يبين الجدول (3) نتائج قياس الموصلية الحرارية بالدرجة المئوية وتكرارها لتحديد مدى فعالية العينة المصنعة كعازل حراري، إذ إن انتقال الحرارة من الجزء الساخن إلى الجزء البارد مع مرور الزمن يحدث ببطء ويؤكد ذلك قيم درجات الحرارة بين كل قراءة وأخرى، ومن خلال قيم درجة الحرارة المسجلة في التجربة يمكن توضيح كمية الحرارة

سماكة العينة ( cm )	□□□□ 2 cm)	□□□□ 4 cm)
الموصلية الحرارية $\lambda$ [w/m. °C]	0.690[w/m. °C]	0.374 [w/m. °C]

المنتقلة (Q) خلال العينة للطرف البارد باستخدام العلاقات الفيزيائية، وحساب قيمة الموصلية الحرارية .

بالاعتماد على نتائج في الجدول (3) وبالتعويض بالعلاقات السابقة نجد :

نلاحظ من الجدول (4) أن العينة ذات السماكة □□□□ 2cm أعطت قيمة موصلية حرارية أعلى من العينة ذات السماكة □□□□ 4cm ، وبالتالي يكون العزل بالعينة ذات السماكة □□□□ 4cm أفضل، ويعود ذلك إلى زيادة عدد ألياف القش و زيادة كمية البولي أستر غير المشبع بين الألياف مما أدى لزيادة قوة الترابط بين ألياف القش وبالتالي ملء الفراغات البينية بشكل محكم مما أثر على انخفاض مقدرة العينة في نقل الحرارة.

#### 2.5 تجربة قياس الرطوبة:

يوضح الجدول التالي تجربة قياس الرطوبة لعينتين بسماكتين مختلفتين:

الجدول(5): مقارنة نتائج تجربة اختبار مقاومة العينات المدروسة بسماكتين مختلفتين لامتصاص الرطوبة.

650.4	352.67	وزن العينة رطب\g
625.02	317.4	وزن العينة جاف\g
$20*12*4= 960 \text{ cm}^3$	$20*12*2= 480 \text{ cm}^3$	حجم العينة $\text{cm}^3$
$650.4/960= 0.677$	$352.67/480= 0.734$	الكثافة الرطبة $\text{g/cm}^3$
$625.02/ 960= 0.651$	$317.4/480= 0.661$	الكثافة الجافة $\text{g/cm}^3$

نلاحظ من الجدول أنه العينة ذات السماكة الأعلى أعطت نسبة رطوبة أقل وبالتالي زيادة عدد ألياف القش وكمية بوليستر غير المشبع بين صفوفها واستخدام الضغط المناسب يزيد قوة ترابط بين الألياف ويؤدي إلى ملء الفراغات البينية بشكل محكم مما يقلل من نسبة الرطوبة للعينة، وتغليفها ببول تغليف أدى إلى زيادة عامل حماية من العوامل الخارجية.

### 3.5 تجربة حساب الكثافة:

□□□□ 4 cm)	□□□□ 2 cm)	سماكة العينة ( cm )
580.83	533.78	وزن الجفنة /g

الجدول(6): مقارنة نتائج تجربة حساب الكثافة للعينات المدروسة بسماكتين مختلفتين.

1231.23	886.45	وزن الجفنة + العينة رطبة g/
1205.85	851.18	وزن الجفنة + العينة الجافة g/
650.4	352.67	وزن العينة الرطبة/g
625.02	317.4	وزن العينة الجافة /g
25.38	35.27	وزن الماء/g
3.892	6.738	نسبة الرطوبة %

تم حساب الكثافة باعتماد على طريقة الحسابية وتشير النتائج وفق الجدول (6) أن العينة ذات السماكة الأعلى أعطت نسبة رطوبة أقل وكثافة جافة ورطبة أقل، مما يشير أن بزيادة عدد ألياف القش وكمية البوليستر غير المشبع واستخدام الضغط المناسب، أدى إلى ملء الفراغات البينية بشكل محكم، مما يقلل من نسبة رطوبة التي يمكن أن تحتفظ بها العينة ويقلل أيضاً من كثافتها.

### 4.5 اختبار الصدم للعينات

يتبين من خلال الشكل (8) أن مقاومة الصدم للعينات المدروسة باستخدام ضغط متوسط (7bar) قد أعطت مقاومة الصدم الأعلى ويعود ذلك (12h) إلى زيادة الترابط والتماسك بين الطورين (القش + البولي أستر غير المشبع)، مما أدى لزيادة كثافة المادة وترابطها وزيادة النسبة الحجمية للألياف ضمن المادة المركبة وهو ما

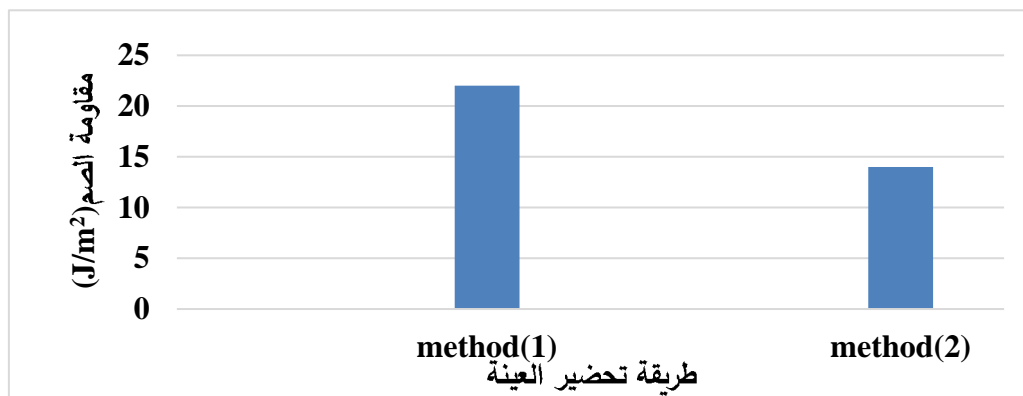
يعيق نمو الشقوق وانتشارها ويؤدي إلى ملء الفراغات البينية بشكل محكم، لكن زيادة الضغط فوق هذا الحد كما في الطريقة الثانية إلى (20bar) وتركه مسلطاً نفس المدة (12h) يؤدي لتسرب الطور الأساس (البولي أستر غير المشبع) مما يضعف قوى الترابط والتماسك مع الألياف، ويؤدي لتكسر قسم منها وهو ما يؤدي لنمو التشققات، فمن المعروف أن القش يتصف بالقصافة والهشاشة وبالتالي لا بد من استخدام ضغط معتدل لتحقيق توزيع متجانس للراتنج (البولي أستر غير المشبع) دون أن يؤثر ذلك في إضعاف مقاومة المادة المركبة للصدمات، كما أن زيادة الضغط بشكل أعلى يؤدي لانخفاض مقاومة الصدم بشكل أكبر نتيجة تسرب كمية أكبر من الطور الأساس وزيادة التشققات التي تصيب الطور المنتشر (القش). تتوافق هذه النتائج مع ما توصل له الباحث (Mohan and Ratana et al,2007) حيث وجدوا انخفاض في مقاومة الصدم لمادة مركبة من البولي أستر وقش الأرز مع انخفاض تركيز الطور الأساس (البولي أستر)، واقترح تعديل الألياف بالكربولاكتام (Caprolactam) وكربونات الكالسيوم لزيادة الترابط والتماسك بين الطوري. [Mohan et. al,2007]

## 2.5 نتائج اختبار الضغط للعينات

### 1.2.5 نتائج اختبار الضغط الثقلي للعيينة (20cm × 12cm × 4cm):

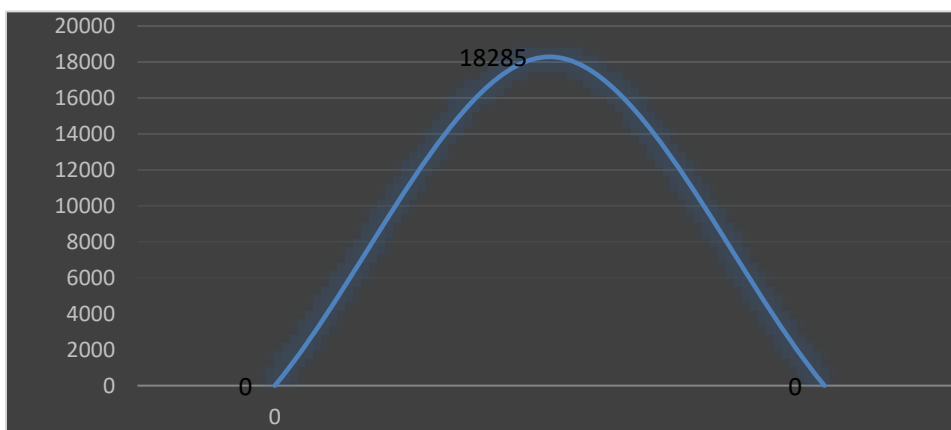
#### بالشكل الأفقي:

يبين الشكل (9) أن العينة تعرضت للضغط على كامل مساحة المقطع ( $20 \times 12 = 240 \text{cm}^2$ ) لمدة (13min) حتى حدث انهيار عند قوة ضغط بلغت (18285kgf) ومقاومة الضغط للعيينة بلغت ( $76.1 \text{kg/cm}^2$ ).



### بالشكل العامودي:

تعرضت العينة للضغط على كامل مساحة المقطع ( $20 \times 4 = 80 \text{ cm}^2$ ) حتى حدوث تشوه وتشقق بالعينة كما هو موضح بالشكل (10)، وذلك عند قوة ضغط بلغت (714kgf) ومقاومة الضغط للعينة بلغت ( $8.9 \text{ kgf/cm}^2$ ).



الشكل (9): المخطط البياني لقوة الضغط التي تعرضت لها العينة ( $20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ ) بالشكل الأفقي.



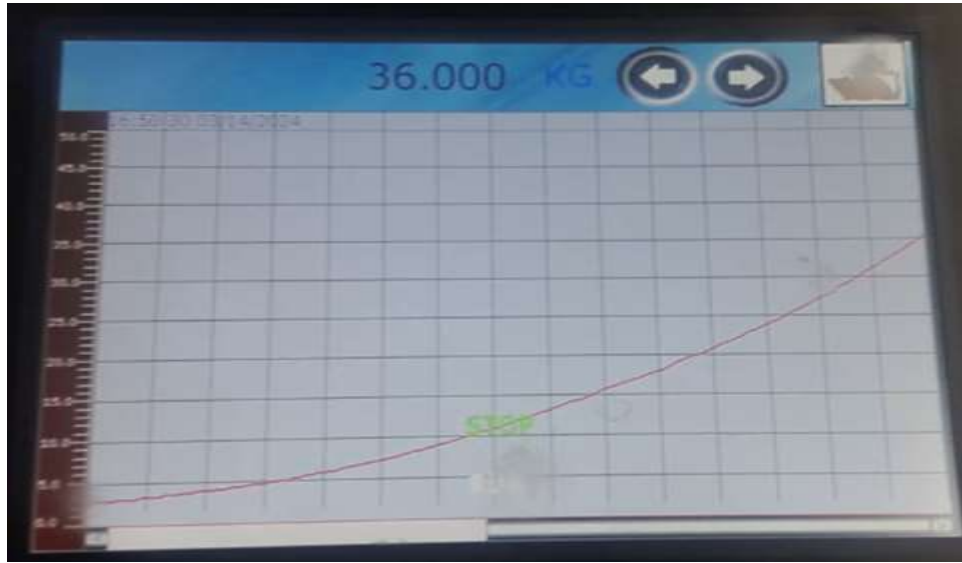
الشكل (10): شكل العينة ( $20 \text{ cm} \times 12 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$ ) بعد تعرضها للضغط بالشكل العامودي

بالتالي يتبين ارتفاع مقاومة العينة المعرضة لضغط أفقي بشكل أكبر وملحوظ مقارنة للعينات المعرضة لضغط عمودي على المقطع (20×4)، ويرجع ذلك إلى قدرة العينات المعرضة للضغط بشكل أفقي على مساحة المقطع (20×12) على نقل الحمل من ليف إلى آخر مع وجود استمرارية، بحيث يساعد الترابط الذي يحققه البولي أستر غير المشبع للقش إلى زيادة مقاومته لقوى الضغط، بينما في العينة ذات المقطع الأقل يحدث التشقق ونمو الشق بشكل كبير نتيجة قلة عدد الألياف التي تتصدى للحمل، ويحدث ما يسمى الفشل الكارثي للمادة المركبة عند مستوى ضغط منخفض (8.9kgf/cm<sup>2</sup>)، ومن المعروف أن تمزق الألياف يحدث بشكل متدرج ففي حين تتحطم بعض الألياف في العينة المعرضة للضغط بشكل أفقي تقوم بقية الألياف بالتصدي لقوى الضغط، بينما في الألياف المعرضة للضغط بشكل عمودي يحدث الانهيار بشكل مفاجئ نتيجة انخفاض عدد الألياف وانخفاض قوى الترابط بينها.

### 2.2.5 نتائج اختبار الضغط الثقلي للعينة (20cm ×12cm ×2cm):

#### بالشكل الأفقي:

يبين الشكل (11) أن العينة تعرضت للضغط على كامل مساحة السطح (20×12= 240 cm<sup>2</sup>) حيث بلغت قوة الضغط التي تتحملها العينة (36000kgf) بدون حدوث كسر للعينة أو تشوه، حيث تبين أن القش المقطع أعطى قوة ترابط أقوى لأجزاء العينة وبلغت مقاومة الضغط للعينة (150 kgf/cm<sup>2</sup>).



الشكل (11): المخطط البياني لقوة الضغط التي تعرضت لها العينة (20cm×12cm×2cm) بالشكل الأفقي.

#### بالشكل العمودي:

تعرض العينة للضغط على كامل مساحة السطح (20×2= 40cm<sup>2</sup>) حتى حدوث انفلاق وتشقق بالعينة كما هو موضح بالشكل (12) عند قوة ضغط مقداره (571kgf) بينما بلغت مقاومة الضغط للعينة (14.2kgf/cm<sup>2</sup>).



الشكل (12): شكل العينة (20cm×12cm×2cm) بعد تعريضها للضغط بالشكل العمودي

□ يلاحظ من نتائج العينة ذات الأبعاد (20cm × 12cm × 4cm) المعرضة للضغط بالاتجاهين الأفقي والعمودي أنّ العينات المعرضة للضغط العمودي تعطي أقل مقاومة ( 14.2 kgf/cm<sup>2</sup> ) مقارنة بالعينة المعرضة للضغط بشكل أفقي (150 kgf/cm<sup>2</sup>) حيث إن العينات المعرضة للضغط الأفقي تمتلك القدرة على تبديد طاقة الضغط، بحيث ينتقل الحمل من ليف لآخر بشكل مستمر وسلس، يساعد بذلك الترابط الذي يحققه البولي أستر غير المشبع بين ألياف القش في حين لا تمتلك العينة المعرضة للضغط بشكل عمودي القدرة على تبديد الطاقة نتيجة انخفاض عدد الألياف وانخفاض كمية البولي أستر غير المشبع الرابطة بين الألياف.

كما يتبين أن العينات ذات السماكة (2cm) تمتلك مقاومة الانضغاط الأقل بالاتجاهين الأفقي والعمودي مقارنة بالعينات ذات السماكة (4cm)، ويرجع ذلك إلى خروج البولي أستر غير المشبع عند تحضير العينات ذات السماكة (2cm) نتيجة لتعرضها لقوى ضغط أعلى أثناء كبسها وتحضيرها، وهو ما يضعف الترابط بين ألياف القش، وبالتالي يضعف قدرتها على نقل الحمل بين الألياف وبالتالي يحصل ما يسمى الفشل الكارثي للمادة المركبة نتيجة انهيار الطور (ألياف القش).

## 6. استنتاجات:

- ✓ بينت التجارب أن استخدام المخلفات النباتية (القش) في العزل الحراري فعال.
- ✓ بزيادة السماكة من (  $2\text{ cm}$  ) إلى (  $4\text{ cm}$  ) انخفضت الموصلية بنسبة 53%، وتم التوصل إلى خواص ميكانيكية أفضل.
- ✓ أوضحت التجارب أن العينة ذات السماكة (  $4\text{ cm}$  ) تمتلك مقاومة الانضغاط الأعلى بالاتجاهين الأفقي والعمودي ومقاومة الصدم الأعلى وامتصاص رطوبة أقل بنسبة (42.24%) والكثافة الأقل مقارنة بالعينة ذات السماكة (  $2\text{ cm}$  ).

## • التوصيات:

- ✓ ضرورة تطوير العينات المصنعة واختيار مواد نباتية ذات تركيب ليفي آخر ( قش الارز \_ القصب ) ذو كفاءة ومواصفات مماثلة لكن أقل ثمناً ومثبطة للإشتعال ودراستها اقتصادياً.
- ✓ تطبيق استخدام العينة المدروسة ضمن منشأة زراعية، ودراسة عمرها الاستثماري، واستفادة من القش كمادة عازلة للحرارة لتوفير استهلاك الطاقة، والمقارنة من حيث الاستهلاك السنوي للطاقة قبل وبعد العزل الحراري.

• المراجع العلمية:

١. آل فليح, رنا. تأثير درجة الحرارة والسلك والظروف البيئية على الخواص الحرارية للبولي استر غير المشبع النقي والمطعم, مجلة التربية والعلوم, العراق, المجلد 24, العدد3, 2011, 107 – 120.
٢. عمران, عدنان (2021). انتقال الحرارة. سوريا: مطبوعات جامعة طرطوس.
٣. كود العزل الحراري للأبنية في الجمهورية العربية السورية (2008). المركز الوطني لبحوث الطاقة، وزارة الكهرباء.
4. Chen, Y., Wang, X., Li, D., Gosselin, I.( 2024) **“Hygrothermal performance of straw bales split-insulation wall assembly in cold and humid climates”** Energy and Building, Volume 307,15March 2024,113974.
5. Mohan. K. Rao& a Ratna Parasad, (2007) **“Tensile and impact behavior of rice straw-polyester composites.** Indian journal of fiber& textile research, Vol.32.p.399-403.
6. Roh , C., Gauvin, F., Schollbach, F., Brouwers, H.,( 2023) **“Upcycling wheat and barley straws into sustainable thermal insulation”** Assesment and treatment for durability Resources, conservation and Recycling, volume198..
7. Rojas, C., Cea, M., Valdes, G., Navia, R.,( 2019) **“Tharmal insulation materials based on agricultural residual wheat straw and coruhusk biomass for application in sustainable buildings”** Sustainable Materials and Technologies, Volume 20.
8. Tlajji, gh. Pennec, fa. Biwole, pa.(2022). **“Thermal and mechanical behavior of straw-basad construction: A review”** Construction and Building Materials, volume 316,17January 2022,125915.
9. Zheng, ch. Sun, k. chen, y. wu, yu. (2023). **“ Mechanical and thermal properties of unvironmentally friendly straw boards”** Construction and Building Materials, volume 407,1 December 2023,133493.