

خصائص السلوك المعياري بالقص لمكونات العناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

د. أكرم صقور *

م. جلال عمران **

(تاريخ الإيداع 2019/ 11/7. قُبل للنشر في 16 /7/ 2020)

□ ملخص □

يتزايد توظيف العناصر السندويشية الخفيفة في المنشآت الهندسية يوماً بعد يوم نظراً لإمكانية تمييزها بالعازلية العالية صوتياً وحرارياً علاوة على تكيف استثمارها إنشائياً كعناصر سريعة التشييد حسب المواد المستخدمة فيها، وتقنية انتاجها لتعمل كجدران، وأسقف حاملة داخلية وخارجية قادرة على تلقي أنظمة التحميل التي تخضع لها المنشأة من حمولات الخدمة العادية، والرياح، والثلج، ونقلها عبر المدادات الثانوية إلى العناصر الرئيسة الحاملة الأخرى في المنشأة المطلوبة.

لا تتوفر لدينا حتى الآن مرجعيات علمية رسمية تتبنى تجهيزات معينة بألية اختبار مادة النواة لهذه الألواح، وإدراج مواصفاتها الميكانيكية والفيزيائية ضمن نظام حساب إنشائي محدد لضبط معايير التصميم الإنشائي لها من خلال التعريف بمعاملات مرونتها على الشد، والضغط، والقص، والالتصاق المتعلقة بالدرجة الأولى بجودة ومواصفات المنتج، سواء بالتحميل المباشر، أو الطويل الأمد لتحديد الحمل الأقصى التصميمي لهذه الألواح.

تسعى هذه الورقة البحثية إلى التعريف بنظام اختبار القص لنواة اللوح السندويشي ومادة التصاقها مع طبقة التغطية، والاشتقاق تجريبياً لمعامل مرونة النواة القصي المعياري ومخطط الإجهاد التشوه التصميمي المرافق، وذلك باستخدام جهاز تجريب أعد خصيصاً لاختبار مثل هذه المادة من الألواح السندويشية المنتجة محلياً بنواة من البوليوريثان، وتعميم نتائجها لتشكيل قاعدة بيانات أساسية لإجراء التحليل والتصميم للعناصر المكونة من هذه الألواح.
كلمات مفتاحية: ألواح العناصر السندويشية، طبقة التغطية المستوية، نواة البوليوريثان، معامل مرونة النواة المعياري على الشد، مخطط السلوك المعياري، مقاومة الالتصاق.

* أستاذ في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين باللاذقية - سوريا

** طالب دراسات عليا (دكتوراه) في قسم الهندسة الإنشائية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين باللاذقية - سوريا

Properties of normative behavior with shear of the light locally produced sandwich panels with two steel faces and a core of polyurethane (PUR)

Prof. Dr. Eng. Akram Sakkour*
Eng. Jalal Omran**

(Received 7/11/2019. Accepted 16/ 7/2020)

□ ABSTRACT □

Light sandwich panels are increasingly employed in engineering facilities because of their high acoustic and thermal insulation, in addition to adapting its construction investment as fast construction elements according to the materials used and production technology to work as walls and internal and external carrier roofs, which are capable to receive the loading systems which the facility is subjected to such as normal service loads, wind, and snow, and transport them via secondary beams to the other major carriers in the required facility.

We haven't had yet official scientific references that adopt certain equipment by mechanism of testing the core material of these panels in the first place, and insert their physical and mechanical properties within a specific structural calculation system to adjust the structural design standards by defining their moduli of elasticity on tension, compression, shear and adhesion related primarily to the quality and specifications of the product, either direct or long term load to determine the maximum designed load of these panels.

This paper seeks to introduce shear testing system of the sandwich panel core and its adhesion to the face layer, and to derive experimentally the core shear standard modulus of elasticity and associated strain-stress diagram using an experimental apparatus specifically designed for testing such material of locally produced sandwich panels with core of polyurethane, and generalizing its results to form a basic database to analyze and design the components of the panels.

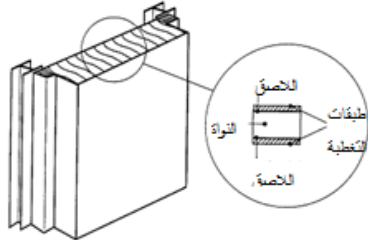
Keywords: Sandwich Panels, Flat Cover, Polyurethane Core, the standard core modulus of elasticity on tension, diagonal of normative behavior, Connection forces.

*Prof. in Structural Engineering Department - Civil Engineering Faculty- Lattakia University-Syria

**Graduate Student (PhD. student) in Structural Engineering Department - Civil Engineering Faculty – Lattakia University-Syria

1- مقدمة:

لقد تسارع محلياً وعالمياً في العقود الأخيرة إنتاج واستخدام الألواح السندويشية المكونة من مواد مختلفة تحاكي في خصائصها الميكانيكية والفيزيائية المستلزمات الوظيفية لها كعناصر إنشائية حاملة، أو عازلة حرارياً، وصوتياً في المنشأة الهندسية المطلوبة.



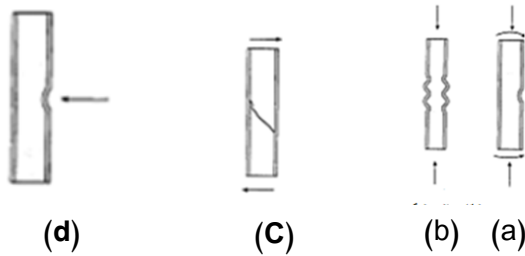
الشكل (1): اللوح السندويشي [1]



الشكل (2): Woolworth State Office south Australia [2]



الشكل (3): سقف بألواح سندويشية لمعمل محلي



الشكل (4): أنماط انهيار الألواح السندويشية [4]

والشكل (5c) للانهياب القصي، والشكل (5d) للانهياب بالتحنيب، أوالتشوه الموضعي [4].

من هذه العناصر السندويشية المنتجة بالأطوال المطلوبة كعناصر جاهزة، والمستخدمه بشكلٍ واسع في مجال الهندسة المدنية تلك المؤلفة من طبقتي تغطية معدنيتين لنواة من مادة البوليوريثان polyurethane، كما هو مبين في الشكل (1)، يتزايد استخدام مثل هذه الألواح الخفيفة الوزن كجدران وأسقف حاملة إضافة لدورها العازل صوتياً وحرارياً.

يبين الشكل (2) أحد نماذج المنشآت الهندسية المشيد بسقفه وجدرانه الداخلية والخارجية من ألواح الصفائح السندويشية، والذي يمثل مبنى المكتب الولي Woolworth بجنوب استراليا [2]، حيث يطلب من هذه العناصر السندويشية مقاومة كل من الحمولات الشاقولية وقوى دفع وسحب الرياح، إضافة لتلك الناتجة عن الفروقات الحرارية داخلياً وخارجياً، أما الشكل (3) فيبين استخدام الألواح السندويشية في المنشآت الهندسية المحلية كسقف لأحد المعامل لتحمل الحمولات الشاقولية والتلجية أو حمولات الرياح، ونقلها إلى مدادات الجيزان الثانوية المعدنية.

يتفاوت نمط الانهيار لهذه العناصر السندويشية المنعطفة بين الانهيار بالتجعيد الموجي (Wrinkling) لطبقة التغطية المضغوطة نتيجة تأثير الحمولات عمودياً على مستوي اللوح، كما يبينه الشكل (4a,4b)،

والانهيار القصي لنواة اللوح حسب طبيعة الحمولات المؤثرة (شكل 4c)، دون أن نستثني من هذه الأنماط إمكانية التشوه الموضعي لنقاط ومواضع تأثير الحمولات على اللوح السندويشي (شكل 4d)، وأنماط الانهيار هذه مبينة تجريبياً بالشكل (5a,b) للانهياب الموجي بالتجعيد،



b: صورة لعينة توضح تمزق النواة وانفصال طبقة التغطية بين نقطتي تطبيق الحمولة



a: صورة لعينة توضح انفصال طبقة التغطية بين نقطتي تطبيق الحمولة



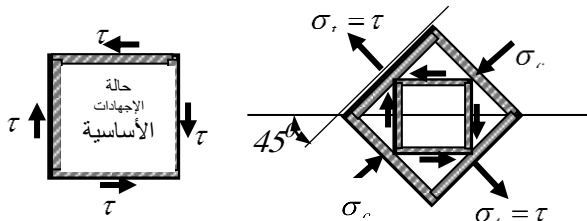
d: صورة لعينة تظهر التشوه موضعي الحاصل عند حدوث الانهيار مع انفصال لمادة النواة



c: انهيار قصي للنواة بزاوية 45 درجة

الشكل (5): أنماط انهيار عناصر الألواح السندويشية المنعطفة [4]

لقد أجمعت أغلب مراكز الأبحاث العالمية والمراجع العلمية المتوفرة في هذا المجال أن تقييم طاقة تحمل العنصر الإنشائي المكون من مثل هذه الألواح السندويشية نتيجة شد النواة قطرياً، كما يبينه الشكل (6)، بتأثير إجهادات القص الأعظمية في أماكن انخفاض تأثير عزوم الانعطاف على مقطع اللوح، حيث يتزايد تأثير القص على مقطع



الشكل (6): الحالة الإجهادية لنقاط مقطع النواة الخالية من الإجهادات الناعمية الطولية

النواة مع إهمال الدور الصغير جدا الذي تلعبه طبقة التغطية في تحمل قوى القص المؤثرة ، حسب ما أجمعت عليه تحليلاً غالبية المراجع العلمية [1]، [3]، [5]، إنما يتم هذا التقييم من خلال الخصائص الميكانيكية الفيزيائية على الشد لمادة النواة، والتصاقها بطبقة التغطية، إذ

كلما ازدادت مقاومة الالتصاق للشد

ازدادت

مقاومة اللوح للانهيار بالتجعيد الموجي، وتقدم سيطرة ظاهرة الانهيار القصي.

$$\sigma_t = \tau \quad (1) \quad \text{يستنتج من الشكل أن إجهاد شد النواة القطري يساوي [6]:}$$

ترتبط مقاومة شد النواة وخصائصها الميكانيكية الفيزيائية على الشد ببنية مادتها، وكثافتها، وتقنية

إنتاجها. لذلك تتباين هذه الخصائص باختلاف مصادر الإنتاج لها.

نسعى من خلال هذه الورقة العلمية بالدرجة الأولى إلى التعريف بوسائل اختبار القص الممكنة لمكونات

حشوة الألواح السندويشية وآلية السلوك القصي لمادة البوليوإيثان المستخدمة فيها، وسبل الاشتقاق لمخطط

الإجهاد التشوه المعياري لعينات هذه الألواح لرصد المعرفة المحلية بشروط التصميم اللازمة للعناصر الإنشائية المكونة منها.

2- أهمية البحث وأهدافه:

يقوم التحليل التوازني والمستقر لوصف سلوك العناصر، والجمل الإنشائية، ومكوناتها، كما هو معروف، على أسس ونظريات عامة مبنية على توفر الخصائص الهندسية لمقاطعها والمواصفات الميكانيكية الفيزيائية لموادها. لذلك تشكل نتائج التجريب للمواد العمود الفقري الذي تبنى على أساسه النظريات التحليلية في التصميم الإنشائي المرن وغير المرن.

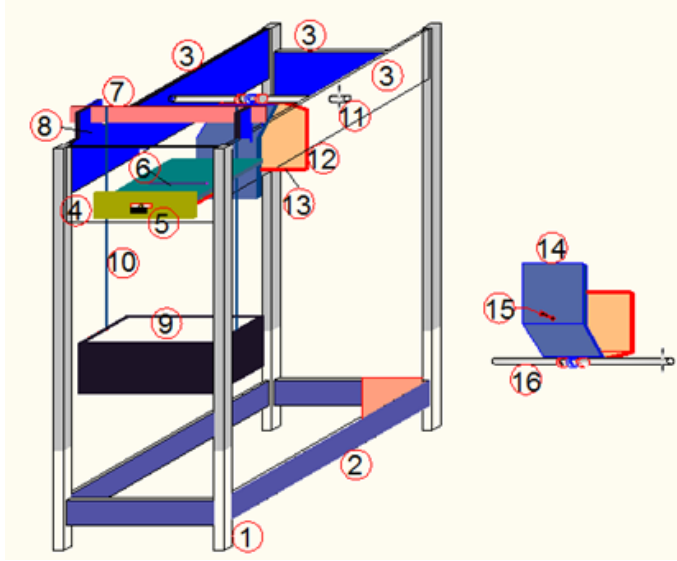
نتيجة اتساع مساحة الانتاج والاستثمار الهندسي عالمياً، ومحلياً للعناصر السندوبيشية المكونة من ألواح بطبقتي تغطية، غالباً، معدنيتين لحشوة من مادة رغوية متصلبة تكثر من بينها مادة البوليوثيران PUR. ونظراً لندرة المرجعيات والأبحاث العلمية المحلية حتى الآن التي تعرف بالسلوك الإنشائي لمنتجاتنا المحلية على الأقل، وانطلاقاً من الحاجة لتوطيد التوطين لوسائل الاختبار محلياً لهذه المنتجات، وسبل معالجة نتائجها للحصول على قاعدة البيانات المعيارية الأساسية بالخصائص الميكانيكية والفيزيائية اللازمة لضبط معايير التصميم للعناصر الإنشائية المكونة منها، الذي يمكن استثمار نتائجه في عملية التحليل الإنشائي في المنشآت الحاوية لهذا المنتج، تأتي أهمية هذا البحث ليسهم في التعريف بالسلوك الميكانيكي المعياري لحشوة اللوح السندوبيشي من البوليوثيران على القص وشروط التصاقها بطبقة التغطية لتأمين العمل المشترك لهذا اللوح من خلال اختبار نماذج عينات عشوائية لمنتجات محليين بوسائل اختبار، وآليات تحميل أعدت خصيصاً لهذا الغرض.

3- طرائق البحث ومواده:

بنيت طرائق إجراء البحث على وقائع الدراسات المرجعية التحليلية والتجريبية للألواح والعناصر السندوبيشية المكونة من طبقتي تغطية معدنيتين لحشوة من البوليوثيران، وشكلت الألواح المماثلة المنتجة محلياً مادة البحث التجريبي لإجراء اختبارات الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمادة النواة، وتحديد مخطط الإجهاد التشوه التجريبي، والمعيارية لها، كأحد أهم مستلزمات الدراسة والتصميم.

استحضرت لهذا الغرض إلى مخبر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين عينات عشوائية مغلقة لنموذجين من نماذج هذه الألواح المنتجة محلياً بسطحها المستوي، أو المقلم قليلاً. السماكة الكلية للنموذج الأول من الألواح 81 ملم، ونواتها من البوليوثيران 80 ملم، وسماكة النوع الثاني 51 ملم، ونواته 50 ملم، أما سماكة كل طبقة تغطية للنموذجين فهي 0.5 ملم، ومصنوعة من الفولاذ ST52 المحدد تجريبياً في مخبر البحث.

نتيجة عدم توفر جهاز اختبار مستقل في المخبر لإجراء التجارب المطلوبة بالتحميل المباشر لهذه المادة الحساسة، لتوصيف السلوك الحقيقي للعينة المختبرة خلال مراحل التحميل والقياس من جهة، قمنا بإعداد جهاز يدوي التحضير والتحميل لأداء المطلوب بتقنية يمكن رفع سويتها لاحقاً ليصبح العمل به أكثر يسراً كجهاز محلي من أجهزة المخبر الأساسية المخصصة لاختبار أمثال هذه المواد، صمم هذا الجهاز ليكون متعدد الإمكانيات في إجراء اختبارات الضغط، والشد، والقص لعينات هذه المادة الحساسة وسواها، والتي يمكن أن تكون بحمولات متدرجة، أو صادمة، مباشرة، أو طويلة الأمد أيضاً، يبين الشكل (7) هذا الجهاز المصمم وأقسامه، وهو يتألف من:



الشكل (7): جهاز التجريب متعدد الأغراض

- 1- أربعة قوائم حاملة 15-
- برغي شد الملقط على العينة
- 2- صفائح تثبيت وربط القوائم
- 3- قضيب من الفولاذ المقسى للملقط
- 4- صفائح تقوية وربط علوية للقوائم
- 5- صفيحة تثبيت حاملة للدرج وسكتيه
- 6- درج معدني متحرك ضمن سكتيه
- 7- شق إمرار طبقة التغطية
- 8- ذراع تطبيق الحمولات على العينات
- 9- سكة تحرك الذراع
- 10- حوض أو صفيحة وضع الحمولات
- 11- قضيب معدني لنقل التحميل
- 12- قضيب من الفولاذ المقسى حامل لملقط العينة
- 13- ملقط أو مقبض العينة
- 14- سكة إمساك طبقة تغطية العينة
- 15- ملقط أو مقبض ثانٍ للعينة

يلحق بالجهاز عتلة القص، و صفائح معدنية صلبة لتوضع العينة على الدرج مع مجموعة أوزان التحميل، وساعات القياس التي توضع على حواملها في الأماكن المناسبة حسب التجربة المطلوبة. أكبر أبعاد عينات تجارب الضغط التي يمكن إجراؤها على هذا الجهاز هي بمقطع متوازي مستطيلات $dx100 \times 100 \text{ mm}$ ، حيث d سماكة اللوح السندويشي.

أما تجارب الشد التي يمكن إجراؤها عليه، فقد شملت عينات بأبعاد منتظمة $dx100 \times 100 \text{ mm}$ ، وأخرى بمقاطع مخروطية أو مندرجة للنواة لبلوغ إجهاد انهيار العينة داخل مادة النواة قبل حصول الانهيار للعينة عند سطح اللاصق مع طبقة التغطية من جهة، وللمفاصلة بينها في بلوغ الهدف المطلوب من جهة ثانية.

إضافة لذلك، يمكن إجراء اختبارات القص المباشر للنواة واللاصق بعينات من متوازيات المستطيلات بسماكة اللوح وأي سماكة عمودية عليها مرغوبة حتى 100 mm ، بينما يفضل ألا تقل السماكة العمودية عن

سماكة اللوح لاختبار السلوك الميكانيكي القصي.

سوف ندرج لاحقاً في متن هذه الورقة العلمية على اصطلاح ما يسمى بإجهاد قص اللاصق لكل أشكال الانهيار التي تتعلق باللاصق للنواة مع طبقة التغطية، سواء تَمَثَّل هذا الانهيار بانفصال اللاصق جزئياً أو كلياً عن طبقة التغطية، أو انفصال النواة عن اللاصق عند سطح القص.

بينما في ورقة علمية سابقة مراحل إجراء تجارب الضغط والشد على هذا الجهاز، أما تجارب القص للحشوة ذاتها، أو لالتصاقها بطبقة التغطية فهي تتم بموجب الشكل (8) وفق الآتي:



نظام تجريب السلوك القصي للنواة واللاصق



نظام تجريب القص المباشر للنواة
شكل (8): أنظمة تجريب القص

أولاً: تجارب السلوك القصي

1- تحضير العينة بالأبعاد المطلوبة للتجريب، وتثبيت طبقة التغطية الأولى داخل الملقط المعلق المستند على درج الجهاز.

2- يوضع ذراع التحميل أعلى طبقة التغطية الخارجية.

3- يوضع جهازاً لقياس انتقالات على أسفل ذراع التحميل يميناً ويساراً لرصد انتقال العينة وضبط مركزية تأثير أوزان التحميل بشكلٍ دقيق.

4- تبدأ التجربة بتحميل الأوزان تدريجياً على صفيحة التحميل ليتم نقل تأثيرها عبر قضبان العلاقات المعدنية إلى ذراع التحميل على العينة (لاحظ الأوزان المحملة على الصفيحة حتى نهاية التجربة).

ثانياً: تجارب قص اللاصق

تتم بالمرحل السابقة نفسها مع فارق أن تثبت العينة بكاملها داخل الملقط حتى حدود الطبقة الخارجية، بحيث يؤدي تحميل الذراع إلى القص في مستوي اللاصق مع النواة.

ثالثاً: القص المباشر للنواة

1- تحضير العينة بالأبعاد المطلوبة للتجريب، ووضعها في المكان المناسب لها على درج الجهاز.

2- وضع عتلة القص المثبتة إلى الذراع في مكانها المناسب على العينة.

3- تبدأ التجربة بتحميل الأوزان تدريجياً على صفيحة التحميل ليتم نقل تأثيرها إلى ذراع التحميل على العينة عبر عتلة القص للنواة.

تتم دراسة سلوك المادة المجربة، واشتقاق الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لها من خلال إيجاد مخطط الإجهاد التشوه للعينات المجربة على القص، حساب إجهادات القص المطبقة على العينة، والتشوهات القصية المرافقة،

$$\tau = \frac{T}{A} \quad (1) \quad \text{ومعاملات الميول القصية لكل مرحلة تحميل تتم بالعلاقات الآتية :}$$

حيث تمثل A مساحة مقطع النواة، و $T = F$ القوة المماسية المطبقة على العينة.

(2) أما التشوه القصي الحاصل لكل مرحلة من مراحل التحميل فيحسب بموجب العلاقة:

$$\tan \gamma \approx \gamma = \frac{\Delta}{t_c}$$

حيث تمثل t_c سماكة النواة، و Δ مقدار انتقال طبقة التغطية الخارجية التي تسجلها أجهزة القياس التجريبية.

ليتم من خلال ذلك حساب معامل الميول القصي لمخطط الإجهاد التشوه بالمعادلة:

$$G_i = \frac{\tau_i - \tau_{i-1}}{\gamma_i - \gamma_{i-1}}$$

أما إجهاد قص اللاصق فيعطى بالصيغة الآتية: (4)

$$\tau_{pa} = \frac{T}{A_{pa}}$$

حيث تمثل A_{pa} مساحة مقطع النواة، و $T = F$ القوة المماسية المطبقة على العينة.

وكذلك، فإن إجهاد القص المباشر للنواة بعنلة القص يحسب بموجب العلاقة [6]:

$$\tau_c = \frac{T}{2A_c}$$

حيث تمثل A_c مساحة مقطع النواة المعرض للقص، و $T = F$ القوة المماسية المطبقة على العينة. لقد أجريت الاختبارات المطلوبة على نموذجين من الألواح السندويشية بسماكة 81mm للنموذج الأول، و 51mm للنموذج الثاني. إذ بلغ عدد العينات المجربة لتحقيق هذا الغرض لنموذجي الألواح السندويشية 37 تجربة توزعت بين قص اللاصق والنواة.

4- النتائج والمناقشة

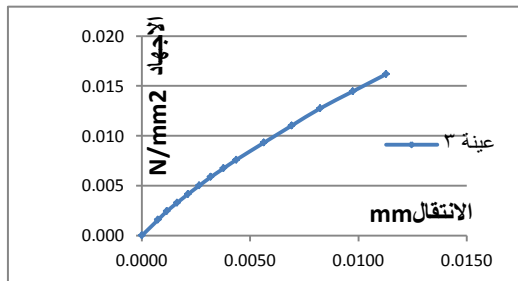
نبين بداية أن هذه المناقشة ستوجه لتسليط الضوء على وسائل، ونتائج الاختبار المناسبة، وتوظيفها لنفي بغرض التوصيف بدقة كافية لآلية السلوك الميكانيكي القصي لنماذج مكونات الألواح المختبرة بخصائصه الميكانيكية الفيزيائية، والتي تشكل قاعدة البيانات الأساسية لتبيان آلية اشتقاق السلوك المعياري التصميمي وخصائصه، دون أن يشكل مستوى هذه الخصائص لنماذج ومصادر الألواح المشمولة بالبحث أهمية كبرى بحد ذاتها، لأن هذا المستوى متبدل من مصدرٍ لآخر حسب مكونات اللوح ومواده، إذ تدرج نتائج اختبار النموذجين المستثمرين في هذا البحث تحت هذا المفهوم.

أولاً: النموذج الأول A

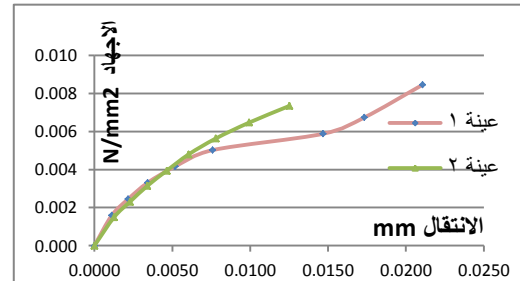
• السلوك القصي

ندرج فيما يلي جدولياً نتائج المعالجة التحليلية بالعلاقات (1)، و (2)، و (3) لمصفوفة التحميل المتتالي لكل عينة من العينات المجربة المعبر عنها بالإجهاد τ المطبق على العينة نتيجة تحميل العينة في مستوي طبقة التغطية الخارجية، ومقاسات التشوه القصي المرافقة له نتيجة انتقال هذه الطبقة الخارجية نسبة للطبقة الداخلية المثبتة داخل الملاقط، كما أرفقت هذه الجداول بمخططات السلوك القصي لعلاقة الإجهاد بالتشوه للعينات المختبرة.

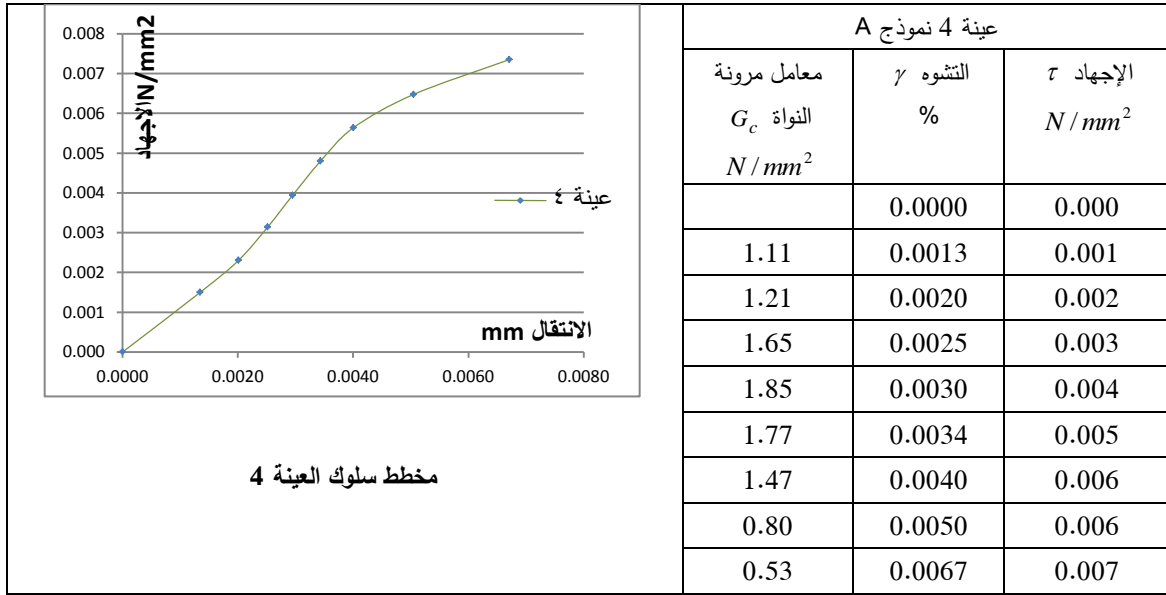
عينة 3			عينة 2			عينة 1 نموذج A		
معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2
	0.0000	0.000		0.000	0.00 0		0.000	0.000
2.12	0.0007	0.002	1.18	0.001 3	0.00 1	1.43	0.001 1	0.002
2.10	0.0012	0.002	0.79	0.002 3	0.00 2	0.82	0.002 2	0.002
1.80	0.0016	0.003	0.75	0.003 4	0.00 3	0.69	0.003 4	0.003
1.73	0.0021	0.004	0.64	0.004 6	0.00 4	0.48	0.005 2	0.004
1.64	0.0027	0.005	0.61	0.006 0	0.00 5	0.36	0.007 6	0.005
1.61	0.0032	0.006	0.48	0.007 8	0.00 6	0.12	0.014 7	0.006
1.47	0.0038	0.007	0.39	0.009 9	0.00 6	0.32	0.017 3	0.007
1.47	0.0044	0.008	0.34	0.012 5	0.00 7	0.46	0.021 1	0.008
1.35	0.0056	0.009						
1.33	0.0069	0.011						
1.31	0.0082	0.013						



مخطط سلوك العينة 3



مخططات سلوك العينتين 2، 1



نمذجة السلوك المعياري لعينات النموذج:

لا يعد نتائج التجريب المبعثرة قليلاً أو كثيراً للسلوك الميكانيكي للمادة في عملية التحليل الإنشائي لتصميم العناصر الإنشائية بل يتم ذلك استناداً للخصائص الميكانيكية الفيزيائية المشتقة للمادة المكون منها العنصر بإرجاع السلوك المتبعثر للعينات المجربة إلى سلوك ميكانيكي معياري، غالباً خطي، ضمن مجال محدد للتحميل ليلبي شروط التحليل والتصميم بنظرية المرونة بمقدار كافٍ، وأخذاً في الحسبان تقنية إنتاج المادة، وظروف تحميلها، واختبارها.

تتمثل عوامل الإرجاع المعيارية لتجارب القص بثلاثة عوامل جوهرية، إجهاد القص، والتشوه الزاوي، ومعامل المرونة القصي.

هذا الأمر ينطبق أيضاً على المادة المختبرة في هذه الورقة العلمية، إذ لاحظنا من خلال المخططات البيانية لسلوك العينات المختبرة أن غالبيتها يتجه للسلوك الخطي ضمن مراحل تحميل معينة كلما كانت بنية نواتها أكثر تجانساً، كما بدى تأثير ذلك خلال مراحل التحميل الأولى.

فطالما اقتصر تصميم العناصر الإنشائية المكونة من مثل هذه الألواح السندويشية على قيم معاملات المرونة لمادة النواة وإجهاد انهيارها لسلوكها الخطي، سوف نسعى بدورنا إلى إرجاع سلوك العينات هذه المجربة بالقص من النموذج نفسه وعلى الجهاز نفسه إلى سلوك خطي حتى بدء تشكل التشوه الزاوي الذاتي المباشر للتحميل دون فاصل زمني، والذي يشير إلى بدء الانخفاض الواضح لمعامل الميول القصي.

لأجل هذا الغرض، ولأخذ في الحسبان أن يشمل معامل القص المرجعي التغير المتدرج في قيمه خلال تزايد التحميل الذي يتوافق عملياً مع تدرج تحميل العناصر الإنشائية، لجأنا إلى تحديد قيمة هذا المعامل المرجعي استناداً إلى عملية رياضية تتبنى إيجاد نهاية التوسيط المتتالي لعدد كافٍ من قيم معاملات المرونة للعينة المجربة لتشمل، على الأقل، مجالات مراحل التحميل الأولى لإعادة هيكلة النواة لبنيتها الداخلية، ولتأخذ في الحسبان التأثير الأكبر لقيم معاملات المرونة الداخلية لنتائج التجربة، على ألا تقل مراحل تحميل العينة

الواحدة عن مرحلتين. ثم تحدد القيمة المرجعية النهائية للعينات المجرية بإيجاد المتوسط الحسابي لنتائج المعاملات الإفرادية.

لتوضيح عملية الحساب الرياضياتي هذه ندرج المثال الآتي:

نفترض أن عدد مراحل التحميل التي تدخل في التقييم لإحدى العينات المجرية هي أربع، سوف تكون معاملات المرونة لهذه المراحل هي G_1, G_2, G_3, G_4 ، التي ستجري عملية التوسيط المتتالي لها حسب ما تبينه المصفوفة الآتية:

معاملات التجريب	التوسيط الأول المتتالي	التوسيط الثاني	التوسيط الثالث والأخير
G_1	-	-	-
G_2	$(G_1 + G_2) / 2$	-	-
G_3	$(G_2 + G_3) / 2$	$(G_1 + G_2 + G_2 + G_3) / (2 \cdot 2)$ $= (G_1 + 2G_2 + G_3) / 2^2$	-
G_4	$(G_3 + G_4) / 2$	$(G_2 + G_3 + G_3 + G_4) / (2 \cdot 2)$ $= (G_2 + 2G_3 + G_4) / 2^2$	$(G_1 + 3G_2 + 3G_3 + G_4) / (2 \cdot 2 \cdot 2)$ $= (G_1 + 3G_2 + 3G_3 + G_4) / 2^3$

بذلك يكون معامل المرونة المرجعي للسلوك المعياري للعينة مساوياً حسب التوسيط الثالث والأخير:

$$G = (G_1 + 3G_2 + 3G_3 + G_4) / 2^3$$

يلاحظ من هذه العلاقة أن القيم المتوسطة لمعاملات المرونة قد دخلت بثلاثة أمثالها في هذه العلاقة، بينما دخلت القيم الطرفية بمثل واحد. أما مقام هذه العلاقة فهو يمثل 2^{n-1} ، حيث n عدد القيم الداخلة في التقييم.

نفترض أن عينة أخرى ممثلة بمرحلتين بمعاملي مرونة G_1, G_2 ، سوف يساوي معامل المرونة المعياري:

$$(G_1 + G_2) / 2$$

أما لو افترضنا أن عينة أخرى ممثلة بمرحلتين بمعاملي مرونة G_1, G_2, G_3 ، سوف يساوي معامل

$$G = (G_1 + 2G_2 + G_3) / 2^2$$

المرونة المعياري:

يلاحظ من هذه العلاقة أن القيمة المتوسطة لمعاملات المرونة G_2 قد دخلت بمثلين في هذه العلاقة.

فهكذا تُبرز هذه العملية التوسيطية المتتالية دور القيم المتوسطة أكثر في التأثير على قيم معامل المرونة

المعياري للعينة.

يلاحظ من خلال هذه المصفوفة أن عناصرها القطرية تمثل دوماً النتائج المطلوبة لمعامل المرونة المرجعي

للسلوك المعياري.

كوميوترياً لا توجد صعوبات تذكر في الحساب المتتالي لهذه المتوسطات وصولاً إلى القيمة النهائية المطلوبة.

أما يدوياً فإن ذلك سيستغرق وقتاً ليس بقليل إذا لم يتم اتباع السبل المبسطة لهذا الحساب، خصوصاً عندما يكون عدد القيم الداخلة في التوسيط كبيراً.

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 2 & 3 & \\ 0 & 0 & 1 & 3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

طالما أن المهم من بين عناصر المصفوفة هي عناصر نهاية

التوسيط التي تمثلها العناصر القطرية للمصفوفة، لذلك بتحليل حدود هذه

العناصر نجد أن ترتيب أمثالها يشكل مصفوفة، عناصر سطرها الأول

وقطرها تساوي 1، وهي من الشكل:

بالتالي، نهاية التوسيط لمعاملي مرونة يساوي:

$$\frac{[G_1 \ G_2]}{2^{2-1}} \times [1 \ 1]^T = \frac{G_1 + G_2}{2}$$

ونهاية التوسيط لثلاثة عوامل مرونة يساوي:

$$\frac{[G_1 \ G_2 \ G_3]}{2^{3-1}} \times [1 \ 2 \ 1]^T = \frac{G_1 + 2G_2 + G_3}{2^2}$$

ونهاية التوسيط لأربعة عوامل مرونة يساوي:

$$\frac{[G_1 \ G_2 \ G_3 \ G_4]}{2^{4-1}} \times [1 \ 3 \ 3 \ 1]^T = \frac{G_1 + 3G_2 + 3G_3 + G_4}{2^3}$$

ونهاية التوسيط لعدد n من عوامل المرونة يساوي:

$$\frac{[G_1 \ G_2 \ \dots \ G_{n-1} \ G_n]}{2^{n-1}} \times [1 \ (n-1) \ \dots \ (n-1) \ 1]^T$$

أي أن نهاية التوسيط لعدد n من عوامل المرونة يساوي جداء المصفوفة السطرية لقيم المعاملات بقيم عناصر العمود رقم n من مصفوفة الأمثال مقسوماً على 2^{n-1} .

أما عناصر مصفوفة الأمثال فهي تنتج عن الجمع الدرجي لعناصر الأعمدة والأسطر التي تسبق العنصر المطلوب، كما يتبين على المصفوفة المعطاة أعلاه.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	3	6	10	15	21	28	36
0	0	0	1	4	10	20	35	56	84
0	0	0	0	1	5	15	35	70	126
0	0	0	0	0	1	6	21	56	126
0	0	0	0	0	0	1	7	28	84
0	0	0	0	0	0	0	1	8	36
0	0	0	0	0	0	0	0	1	9
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

عندما لا يتجاوز عدد قيم معاملات المرونة عشر قيم نعطي تسهياً للعمل مصفوفة الأمثال الآتية. إذ يمثل السطر العلوي المسطر فيها أرقام أعمدة المصفوفة.

مثال: إذا أدخلنا في حساب معامل المرونة القصي المعياري للعينة

1 القيم الأربع الأولى لمعامل الميول نجد أن نهاية التوسيط لهذه القيم هي:

$$\frac{G_1 + 4G_2 + 6G_3 + 4G_4 + G_5}{2^{5-1}} = \frac{[1.43 + 4 \cdot 0.82 + 6 \cdot 0.69 + 4 \cdot 0.48 + 0.36]}{2^4} = 0.694 \text{ MPa}$$

هكذا نجد أن قيم معامل القص المعياري لنتائج عينات النموذج A الواردة في الجداول أعلاه هي:

A					نموذج الألواح
5	4	3	2	1	رقم العينة
	5	11	5	5	عدد المعاملات المشمولة
	1.5	1.5	0.7	0.69	المعامل المعياري G_{ci}
	65	86	53	4	
4.628					المجموع
$G_c = 4.628/4 = 1.16 \text{ MPa}$					G_c المعياري النهائي

يستنتج من هذا الجدول أن قيم معامل مرونة النواة المعياري قد تفاوتت بمقدار كبير إلى حد ما بين مجموعتين من العينات المجموعة الأولى هي العينتان 1، و 2، والثانية هي 3، و 4، إذ يمكن إرجاع ذلك ليس فقط إلى اختلاف بنية النواة، بل ربما لاختلاف اتجاه اختبار ألياف النواة بين الطول والعرض التي يمكن أن

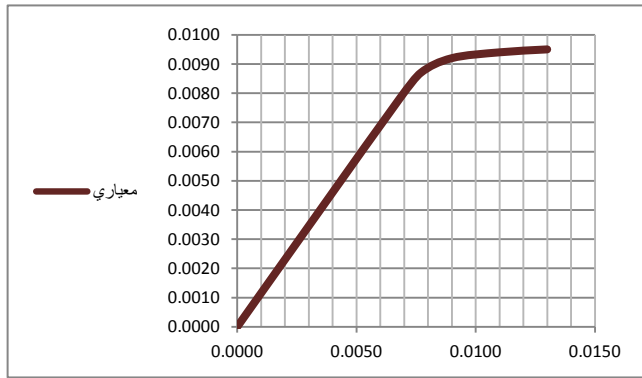
تتباين خصائصها إذا أخذنا في الحسبان مؤثرات ضخ المادة الرغوية بين طبقات التغطية التي يمكن عد اختلاف خصائصها أشبه ما يكون باختلاف خصائص ألياف الخشب، خصوصاً وأن اتجاه اختبار العينة 4 كان مؤكداً معامداً لاتجاه اختبار العينة 2.

لذا يستوجب ذلك أن يؤخذ هذا الأمر في الحسبان لاحقاً ضمن أية أبحاث مستقبلية أخرى بضرورة الانتباه بدقة لاتجاه اختبار العينة.

هكذا، تعد النواة أنها تسلك سلوكاً خطياً معيارياً بمعامل المرونة القصي المعياري النهائي المبين في الجدول أعلاه حتى بلوغ إجهاد القص المتوسط للعينات المقدار $\tau_c = 8.7 \cdot 10^{-3} MPa$ ، والمرافق لتشوه زاوي متوسط

$$\gamma = 7.6 \cdot 10^{-3} rad$$

بعد ذلك بشكل غير خطي وبمعاملات ميول منخفضة تدريجياً حتى الانهيار الذي ترسم مساره القيم المتوسطة النهائية المسجلة على عينات الاختبار، إذ يصل هذا الإجهاد إلى $\tau_c = 9.5 \cdot 10^{-3} MPa$ و $\gamma = 1.3 \cdot 10^{-2} rad$ كما هو مبين على الشكل (9) لمخطط هذا السلوك للنواة.



شكل (9): مخطط السلوك القصي المعياري لألواح النموذج A

نود أن نشير هنا إلى جدوى النتائج الكبيرة التي يقدمها اختبار النواة بهذا الجهاز، حيث كنا خالصنا ننتجتها في ورقة علمية سابقة [7] إلى أن معامل مرونة النواة على الشد يمكن أن يتجاوز القيمة $E_t = 2.35 MPa$ ، إذ نستنتج من خلال تطبيق علاقة معاملات المرونة للسلوك المرن على النتائج المبينة أعلاه أن:

$$\nu = \frac{E_t}{2G} - 1 = \frac{2.45}{2 \cdot 1.16} - 1 = 0.056$$

حيث يمثل ν معامل التمدد العرضي، الذي يمكن أن تصل قيمته إلى 0.06 حسب جودة وكثافة النواة، وتقنية مخرجات الاختبار.

• القص المباشر للنواة واللاصق

يبين الجدول التالي نتائج حساب إجهادات قص النواة للعينات المختبرة بعنلة القص بموجب العلاقة (5)، وإجهاد قص اللاصق بموجب العلاقة (4).

نموذج الألواح الأول A											
قص اللاصق		قص النواة بعنلة القص									
2	1	9	8	7	6	5	4	3	2	1	رقم العينة
11.6	12.7	4.1	3.3	3.9	4.1	3.3	2.9	2.9	4.0	3.7	إجهاد القص المطبق $\times 10^{-2} MPa$
12.15		3.58									المتوسط $\times 10^{-2} MPa$
ملاحظات لقد أجرينا، أيضاً، قصاً مزدوجاً للنواة بصفحة سماكتها 6mm عبر ذراع التحميل فكان إجهاد القص المحسوب أيضاً بالعلاقة (6) مساوياً 0.12 MPa.											

يمكن الاستنتاج، من خلال النتائج الواردة في هذا الجدول أن إجهاد قص اللاصق المعطى إنما يمثل إجهاد قص النواة على أقل تقدير، استناداً إلى الإجهاد الناتج عن القص المزدوج داخل النواة نفسها، وهو يساوي n مرة من إجهاد القص بالعتلة، حيث:

$$n = \frac{12.15}{3.58} = 3.39$$

بالتالي يكون اللاصق لهذا النموذج من الألواح محققاً لشروط استثمار طاقة النواة الإنشائية على القص، لأن تحمله

لإجهادات القص سيكون أكبر أو يساوي ما يمكن أن تجهد فيه النواة بحد ذاتها كحد أقصى، والذي يعد شرطاً هاماً من الشروط التصميمية للعمل الإنشائي للوح السندويشي.

ثانياً: النموذج الثاني B المقلم

• السلوك القصي

تبين الجداول الآتية نتائج اختبار عينات النموذج الثاني مع المخططات البيانية للسلوك القصي لهذه العينات في الشكل (10).

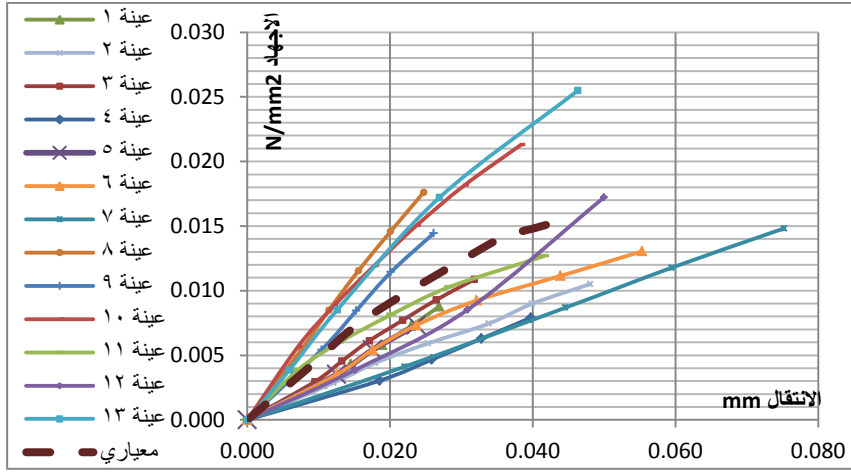
عينة 3			عينة 2			عينة 1 نموذج B		
معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2
	0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
0.31	0.009	0.003	0.24	0.012	0.003	0.27	0.011	0.003
0.42	0.013	0.005	0.26	0.017	0.004	0.38	0.015	0.004
0.41	0.017	0.006	0.21	0.029	0.006	0.34	0.019	0.006
0.34	0.022	0.008	0.18	0.034	0.007	0.37	0.023	0.007
0.34	0.026	0.009	0.25	0.040	0.009	0.38	0.027	0.009
0.30	0.032	0.011	0.19	0.048	0.011	0.27	0.027	0.009
						0.38	0.032	0.010

عينة 6			عينة 5			عينة 4 نموذج B		
معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2
	0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
0.28	0.013	0.004	0.33	0.009	0.003	0.16	0.019	0.003
0.38	0.018	0.005	0.35	0.015	0.005	0.22	0.026	0.005
0.31	0.024	0.007	0.27	0.023	0.006	0.23	0.033	0.006
0.23	0.032	0.009	0.19	0.033	0.008	0.23	0.040	0.008

0.16	0.044	0.011	0.16	0.048	0.009	0.15	0.052	0.010
0.17	0.055	0.013	0.11	0.060	0.011	0.21	0.058	0.011

عينة 9			عينة 8			عينة 7 نموذج B		
معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2
	0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
0.52	0.010	0.005	0.72	0.008	0.005	0.19	0.022	0.004
0.62	0.015	0.008	0.79	0.011	0.009	0.20	0.045	0.009
0.62	0.020	0.011	0.74	0.016	0.012	0.21	0.059	0.012
0.50	0.026	0.014	0.67	0.020	0.015	0.19	0.075	0.015
			0.65	0.025	0.018			

عينة 12			عينة 11			عينة 10 نموذج B		
معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2	معامل مرونة النواة G_c N/mm^2	التشوه γ %	الإجهاد τ N/mm^2
	0.000	0.000		0.000	0.000		0.000	0.000
0.65	0.006	0.004	0.54	0.007	0.004	0.80	0.007	0.006
0.69	0.013	0.009	0.37	0.013	0.006	0.63	0.012	0.009
0.61	0.027	0.017	0.30	0.020	0.008	0.55	0.018	0.012
0.43	0.046	0.025	0.26	0.028	0.010	0.52	0.024	0.015
			0.18	0.042	0.013	0.46	0.030	0.018
						0.40	0.038	0.021



شكل (10): مخطط سلوك العينات

لم يعد هناك ضرورة من مناقشة نتائج التجريب لنموذج الألواح لإعادة تسليط B الثاني الضوء على كل ما ذكر من أدوات، ووسائل، وأسس اشتقاق السلوك المعياري التصميمي وخصائصه المبينة في النموذج الأول

A، بل تأتي أهمية هذا الأمر لتأكيد المؤكد أن ما تم معالجته واستنتاجه يسري، أيضاً، على أي مصدر آخر من مصادر الألواح السندويشية، أيأ تكن مكوناتها وأبعادها عندما يتم اختبارها بتقنيات مناسبة. لذلك نذكر اختصاراً أن معالجة نتائج الاختبار لمعاملات الميول الواردة في الجداول السابقة لهذا النموذج من الألواح بالطرق الرياضية المبينة تؤدي إلى أن قيم معامل القص المعياري لعينات هذا النموذج هي وفقاً لما هو مبين في الجدول الآتي:

B												نموذج الألواح	
13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	رقم العينة
3	3	5	6	4	5	4	4	2	4	3	2	5	عدد المعاملات المشمولة
0.663	0.326	0.314	0.544	0.592	0.729	0.201	0.286	0.337	0.221	0.39	0.250	0.354	المعامل المعياري G_{ci}
5.21												المجموع	
$G_c = 5.21/13 = 0.401MPa$												G_c المعياري لنهاي	

إن ما ذكر في النموذج الأول عن تأثير اتجاه الاختبار على قيم معاملات المرونة المعيارية للعينات يسري أيضاً على نتائج هذا النموذج B، الذي يمكن ملاحظته من خلال نتائج الاختبارات التي أجريت بعد إدراكنا، وأخذنا لهذا الأمر في الحسبان، وذلك على العينات المجربة باتجاه الألياف الطولية وهي (1، و 2، و 3)، وبالاتجاه المتعامد معها للعينات (4، و 5، و 6) من المصدر نفسه، إذ يبدو تأثير ذلك واضحاً من خلال المخطط البياني لسلوك العينات في الشكل (10)، الأمر الذي يمكن أن يلعب فيه اتجاه التقليم دوراً مهماً أيضاً.

هكذا، تعد النواة أنها تسلك سلوكاً خطياً معيارياً بمعامل المرونة القصي المعياري النهائي المبين في الجدول أعلاه الناتج عن إجهاد قص متوسط للعينات مقداره $\tau_c = 1.36 \cdot 10^{-2} MPa$ ، والمرافق لتشوه زاوي متوسط $\gamma = 3.39 \cdot 10^{-2} rad$ ، ليستمر هذا السلوك بعد ذلك بشكل غير خطي، وبمعاملات ميول منخفضة تدريجياً حتى

الانهيار الذي ترسم مساره القيم المتوسطة النهائية المسجلة على عينات الاختبار، حيث $\tau_c = 1.55 \cdot 10^{-2} MPa$ ، و $\gamma = 4.45 \cdot 10^{-2} rad$ ، كما هو مبين على الشكل (10) للمخططات البيانية لسلوك العينات. كنا قد توصلنا في ورقة علمية سابقة، أيضاً، إلى أن معامل مرونة النواة على الشد [7] لهذا النموذج من الألواح مساو $E_t = 0.85 MPa$ ، والذي يمكن الحصول عليه، أيضاً، من خلال تطبيق علاقة معاملات المرونة للسلوك المرن على النتائج المبينة أعلاه، إذ نجد أن: $E_t = 2(1 + \nu)G_c = 2(1 + 0.06) \cdot 0.401 = 0.85 MPa$ وهي نتيجة دقيقة جداً أكثر مما لاحظناه في النموذج A، إذ ربما يعود ذلك إلى استناد النتائج إلى العدد الكثير من العينات المختبرة من هذا النموذج B، أي ثلاثة عشر عينة مقابل أربع عينات للنموذج A. ان تساوي هاتين القيمتين من مسارين مختلفين للتجريب يؤكد أهمية الطريقة الرياضية المعتمدة في اشتقاق معاملات السلوك المعياري للوح السندويشي.

• قص النواة واللاصق

يبين الجدول التالي نتائج حساب إجهادات قص النواة للعينات المختبرة بعنلة القص بموجب العلاقة (5)، وإجهاد قص اللاصق بموجب العلاقة (4).

نموذج الألواح الثاني B											
قص اللاصق					قص النواة بعنلة القص					رقم العينة	
5	4	3	2	1	6	5	4	3	2	1	
13.2	9.0	12.8	12.4	13.7	4.0	4.1	3.2	4.1	3.9	2.5	إجهاد القص المطبق $\times 10^{-2} MPa$
12.22					3.63					المتوسط $\times 10^{-2} MPa$	

استناداً لما استنتج للنموذج A، فإن إجهاد قص اللاصق المعطى في الجدول أعلاه إنما يمثل إجهاد قص النواة، وهو يساوي n مرة من إجهاد القص بالعنلة، حيث:

$$n = \frac{12.22}{3.63} = 3.37$$

ومقلوب هذه النسبة هو 0.3 تقريباً.

الأمر الذي يمكن عده أنه يطابق تماماً ما ورد في النموذج A. علماً أننا نود أن نشير إلى أن المهم من هذه النتائج ليس ضرورة تطابق نتائج النموذجين في خصائصهما كلاً، أو جزءاً، والذي تحقق هنا بعض منها صدفة في مجال إجهاد القص المباشر لللاصق، أو النواة، بل المهم في ذلك أنه عندما توافقت نتائج النموذجين في هذين الأمرين، شكلت نتائج القص بعنلة القص للنواتين معايرة كافية بصحة هذه النتائج، وفاعلية وسائل الاختبار، ومنهجية التحليل المعتمدة، والتي يمكن الأخذ بها مستقبلاً في أي عملٍ بحثيٍّ، أو مهنيٍّ لمثل هذه العناصر السندويشية.

5: الاستنتاجات والتوصيات

1-5: النتائج

- 1- برهن البحث في هذه الورقة العلمية أهمية توطين أدوات، ووسائل التجريب، وأسس معالجة نتائجها لاشتقاق القيم المعيارية التصميمية لمكونات مثل هذه الألواح.
- 2- تحديد الخصائص الميكانيكية المتجانسة لطبقة التغطية المعدنية يمكن أن يتم من خلال اختبار عدد محدود من العينات بالأجهزة المخصصة لهذا الغرض، وبالأبعاد المناسبة لإجراء الاختبار.

3- أثبتت الطريقة الرياضية المعتمدة في متن هذا البحث جدواها لتحديد معاملات المرونة المعيارية التصميمية للعينات المجربة.

4- يساعد اختبار النواة بعنلة القص المزود بها الجهاز في التحقق من إجهاد اختبار اللاصق، إذ يجب ألا تتجاوز النسبة بينهما كحدٍ أعظمي القيمة 0.3 تقريباً حتى يكون القص حاصلًا في النواة على الأقل، أما للنسب الأعلى من ذلك فسيكون القص في اللاصق الذي يجب ألا يتجاوز القيم لبتصميمية لنولة اللوح السندويشي قيمة تحل هذا اللاصق.

5- تشكل نتائج الاختبارات القصية فيصلاً مهماً من قاعدة البيانات الأساسية للصلاحية الإنشائية للألواح السندويشية.

2-5: التوصيات

1- الاهتمام مستقبلاً باستمرار إجراء أبحاث علمية تجريبية تحليلية على مثل هذه الألواح السندويشية لتوطيد توطين استثمار منتجاتها المحلية علمياً أكثر.

2- يفضل في اختبارات السلوك القصي لنواة اللوح الانتباه جيداً إلى جهة التجريب نظراً لإمكانية تباينهما بين الاتجاهين المتعامدين.

3- العمل على تزويد مخبر الكلية مستقبلاً بجهاز خاص لاختبار مثل هذه المواد الحساسة جداً، أو دعم تحسين تقنيات الجهاز المصنع للبحث لتعميم نتائجها العلمية على الأوساط الهندسية الأخرى.

6: المراجع

- [1] Davies, J.M.: *Sandwich panels, Thin-Walled Structure*, Vol.16, pp. 179-198, 1993.
- [2] Pokharel, Nayrayan: Doctorate Thesis, *Behavior and design of sandwich panel subject to local buckling and flexural wrinkling effects*, Queensland university, PP. 1-305, 2003, Australia.
- [3] CIB2000, International Council for Building Research, Studies and Documentation " European Recommendations for Sandwich Panels, Part 1, Design", CIB Publication, pp.1-900.
- [4] Omran, J & Sakkour, A: *A Contribution in studying the stability of the flat and lightly profiled faces of polyurethane cored sandwich panel*, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (36) No. (2), pp. 353-368, 2014, Syria.
- [5] Fagerberg, L: *Wrinkling of sandwich panel for marine application*. PhD thesis, ISSN 1651-7660, KTH Aeronautical and Vehicle Engineering, Stockholm, Sweden, pp.1-180, 2003.
- [6] Sakkour, Akram: *Mechanics of Materials*, Bd. 1, Tishreen University, pp. 1-700, 2016.
- [7] Omran, J & Sakkour, A: *Properties of normative behavior with tension of the light locally produced sandwich panels with two steel faces and a core of polyurethane (PUR)*, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (41) No. (4), 2020, Syria.