

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

المهندس جلال عمران
الأستاذ الدكتور المهندس أكرم صفور

□ الملخص □

يتزايد توظيف العناصر السندويشية الخفيفة في المنشآت الهندسية يوماً بعد يوم نظراً لإمكانية تميزها بالعازلية العالية صوتياً وحرارياً. لا تتوفر لدينا حتى الآن مرجعيات علمية رسمية تتبنى تجهيزات معينة بألية اختبار مادة النواة لهذه الألواح بالدرجة الأولى، 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 الاشتقاق تجريبياً لمعامل مرونة النواة المعياري على الضغط ومخطط الإجهاد التشوه المرافق من خلال اعتماد تجهيزات ووسائل اختبار مناسبة لنماذج من الألواح السندويشية المنتجة محلياً بنواة من البوليوريثان، وتعميم طريقة التجريب الأمثل للاشتقاق دوماً لقيمة هذا المعامل مخبرياً.

كلمات مفتاحية: ألواح العناصر السندويشية، طبقة التغطية المستوية، نواة البوليوريثان، معامل مرونة النواة.

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

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

□ Abstract □

Light sandwich panels are increasingly employed in engineering facilities because of their high acoustic and thermal insulation.

We do not have yet official scientific references that adopt certain equipment by the mechanism of testing the core material of these panels in the first place, and include their physical and mechanical properties within a specific structural calculation system to adjust the structural design criteria by defining its modulus 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.

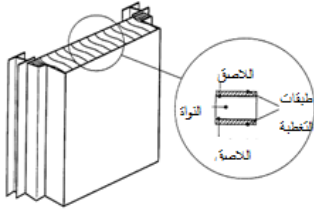
This paper seeks to derive empirically the standard core modulus of elasticity on compression and associated diagonal of strain-stress by adopting suitable test instruments and equipment for three models of locally produced sandwich panels with core of polyurethane, and generalization of the optimal experimentation method to always derive the value of this modulus in vitro.

Keywords: Sandwich Panels, Flat Cover, Polyurethane Core, Critical Wrinkling Stress.

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



الشكل (1): اللوح السندويشي [1]

من هذه العناصر السندويشية المنتجة بالأطوال المطلوبة كعناصر جاهزة، والمستخدمه بشكلٍ واسع في مجال الهندسة المدنية تلك المؤلفه 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.



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

يبين الشكل (2) أحد نماذج المنشآت الهندسية المشيد بسقفه وجدرانه الداخلية والخارجية من ألواح الصفائح السندويشية، والذي يمثل مبنى المكتب الدولي Woolworth

بجنوب استراليا [2]، حيث يطلب من هذه العناصر السندويشية مقاومة كل من الحملات الشاقولية وقوى دفع وسحب الرياح، إضافة لتلك الناتجة عن الفروقات الحرارية داخلياً وخارجياً.



الشكل (3): سقف بألواح سندويشية لمعمل محلي

أما الشكل (3) فيبين استخدام الألواح

السندويشية في المنشآت الهندسية المحلية

كسقف لأحد المعامل لتحمل الحملات الشاقولية والتلجبية أو حملات الرياح، ونقلها إلى مدادات الجيزان الثانوية المعدنية.

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

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/



a: صورة لعينة توضح انفصال طبقة a: صورة لعينة توضح انفصال طبقة
b: صورة لعينة توضح تمزق النواة b: صورة لعينة توضح تمزق النواة
التغطية بين نقطتي تطبيق الحمولة والتغطية بين نقطتي
تطبيق الحمولة والتغطية بين نقطتي تطبيق الحمولة

الشكل (4): نمط انهيار التجعيد الموجي لطبقة التغطية [4]



الشكل (5): نمط الانهيار القصي للنواة بزاوية 45 درجة [4]



والنمط الثاني هو الانهيار القصي لنواة اللوح حسب طبيعة الحملات المؤثرة (الشكل 5)، دون أن نستثني من هذه الأنماط إمكانية التشوه الموضعي لنقاط ومواضع تأثيرات الحملات على اللوح السندويشي (الشكل 6) [4].

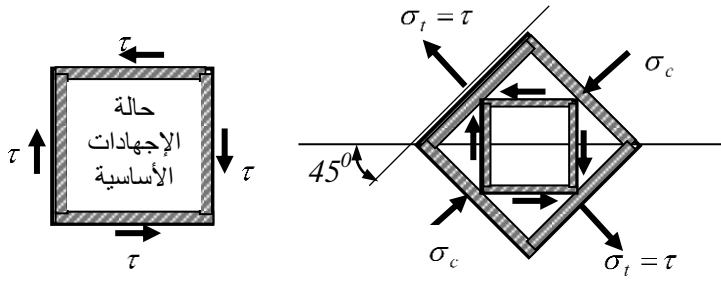


الشكل (6): نمط التشوه الموضعي الحاصل عند حدوث الانهيار مع

انفصال لمادة النواة [4]



لقد أجمعت أغلب مراكز الأبحاث العالمية والمراجع العلمية المتوفرة في هذا المجال أن تقويم طاقة تحمل العنصر الإنشائي المكون من مثل هذه الألواح السندويشية نتيجة شد النواة قطرياً، كما يبينه الشكل (7) بتأثير إجهادات القص



الشكل (7): الحالة الإجهادية لنقاط مقطع النواة الخالية من الإجهادات الناعمية الطولية

الأعظمية في أماكن انخفاض تأثير عزوم الانعطاف على مقطع اللوح، وتزايد تأثير القص على مقطع النواة نتيجة إهمال دور طبقة التغطية في تحمل قوى القص المؤثرة تقريباً، حسب ما أجمعت عليه تحليلاً غالبية المراجع العلمية، والمؤيدة نتائجها إلى درجة كافية تجريبياً [3,5,6]، إنما يتم من خلال الخصائص الميكانيكية الفيزيائية على الشد لمادة النواة، والتصاقها بطبقة التغطية، إذ كلما ازدادت مقاومة الالتصاق للشد ازدادت مقاومة اللوح للانهايار بالتجعيد الموجي، وتقدمت سيطرة ظاهرة الانهايار القصي.

يمكن أن تحدث أنماط الانهايار هذه بتأثير كلٍ من التحميل المباشر بالشدات الكافية لإحداثها، أو بالتحميل طويل الأمد للوح بشدات أقل نتيجة الزحف الذي تتعرض له مكونات اللوح بتغير أبعاد مقاطعه العرضية، وخصوصاً نواته بالدرجة الأهم التي تخضع لانتقالات قصية مستمرة تتقدم من خلالها إمكانية تشكل ظواهر التحنيب من موضعي، وتجعيد على حالة الانهايار القصي له.

ترتبط هذه الانتقالات القصية المستمرة وسرعتها بأبعاد العنصر، وشدة التحميل المؤثرة عليه، وطبيعة تأثيرها من جهة، وبالخصائص الميكانيكية الفيزيائية لبنية مادة نواة اللوح، وكثافتها، وتقنية إنتاجها من جهة ثانية.

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.

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

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 السندويشية المكونة من ألواح بطبقتي تغطية، ونظراً لندرة المرجعيات والأبحاث العلمية المحلية حتى الآن التي تعرف بالسلوك الإنشائي لمنتجاتنا المحلية منها 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 الإنشائي للعناصر الإنشائية المكونة منها، الذي يمكن استثمار نتائجه في عملية التحليل الإنشائي حيث يورد هذا المنتج، تأتي أهمية هذا البحث ليسهم في تبني آلية التعريف بالسلوك الميكانيكي المعياري لحشوة اللوح السندويشي من البوليوريثان على الضغط من خلال اختبار عينات عشوائية لأحد نماذج المنتجات المحلية بوسائل اختبار وآليات تحميل مختلفة.

3- طرائق البحث ومواده:

بنيت طرائق إجراء البحث على وقائع الدراسات المرجعية التحليلية والتجريبية للألواح والعناصر السندويشية المكونة من طبقتي تغطية معدنيتين لحشوة من البوليوريثان، وشكلت الألواح المماثلة المنتجة محلياً مادة البحث التجريبي لإجراء اختبارات الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لمادة النواة، وتحديد مخطط الإجهاد التشوه التجريبي، والمعيار، استحضرت لهذا الغرض إلى مخبر كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين عينات عشوائية مغلقة من هذه الألواح المنتجة محلياً بسطحها المستوي أو المقلم قليلاً (شبه مستوي)، وبسماكة كلية مقدارها 81 ملم، ومؤلفة من نواة من البوليوريثان بسماكة 80 ملم، وكثافة $\rho = 40 \text{ kg/m}^3$ مع طبقتي تغطية بسماكة 0.5 ملم لكلٍ منهما، 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، وإدراكنا أثناء مراحل العمل بعدم كفاية إعداد أحد أجهزة المخبر الآلية المتوفرة (الجهاز الأول المبين في الشكل 8) لتلبية الدقة الكافية للنتائج المطلوبة لتوصيف السلوك الحقيقي للعينة المختبرة خلال مراحل التحميل والقياس من جهة، واقتصار التجارب التي يمكن إجراؤها بوساطته



على الضغط فقط من جهة ثانية، حيث أن أجهزة ضغط المكعبات البيتونية المتوفرة في مخبرنا لا تمكننا من دراسة سلوك عينات الألواح السندويشية وذلك بسبب القفزات الكبيرة للتحميل من مرتبة مئات الكيلوغرامات بينما نحن بحاجة إلى قفزات تحميل أقل.

الشكل(8):الجهاز الأول للتحميل المباشر بالضغط

قمنا بإعداد جهازين يدويين آخرين باليمني عمل مختلفتين عليهما يؤديان الغرض المطلوب بتقنية يمكن رفع سويتها لاحقاً ليصبح العمل بهما أكثر يسراً كجهازين من أجهزة المخبر الأساسية المخصصة لاختبار أمثال هذه المواد.

صمم أحد هذين الجهازين لإجراء اختبارات الضغط على العينات، والتي يمكن أن تكون بحمولات متدرجة، أو صادمة، مباشرة، أو طويلة الأمد أيضاً، والثاني متعدد الأغراض لإجراء اختبارات الشد، والضغط، والقص لهذه المادة الحساسة وسواها.

يبين الشكل (9) الجهاز اليدوي الأول (الجهاز الثاني)، وهو يتألف من قاعدة توضع عينة التجريب بالضغط، تعلوها صينية معدنية تشوهات صغيرة جداً، ويمكن إهمالها مقابل تشوهات العينة تحت تأثير حمولات التجريب المنخفضة نسبياً، يتوسط الصينية صفيحة سفلية بقياس العينة أبعادها 10x10 cm لنقل حمولات الضغط الموزعة من الصينية إلى عينة الاختبار، بينما يتم نقل الحمولات إلى الصينية عبر حوض تحميل يستند عليها ضمن جهاز حاضن من المقاطع المعدنية لجهاته الأربع ليقال إلى حد كبير إمكانية تشكيل الحوض لمزدوجات قوى

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

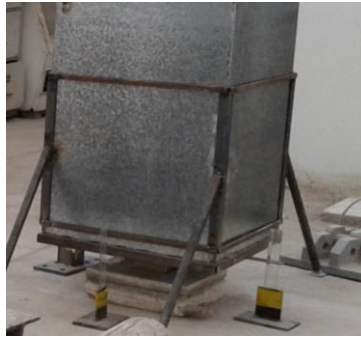
على العينة لتبقى العينة خاضعة لإجهادات الضغط المركزي ما أمكن. يمكن أن يزود الجهاز بساعة قياس مركزية واحدة لقياس انضغاط العينة أثناء التحميل. إلا أننا عمدنا لاستيعاب إمكانية تأثير أي مزدوجة قوى منخفضة على نتائج الاختبار إلى تزويد الجهاز بوسائل قياس الانضغاط من الجهات الأربع للعينة لإرجاع القياسات المسجلة إلى المركزي وتخفيض أخطاء التجريب إلى الحد الأدنى. أما وسائل قياس الانتقالات من الجهات الأربع فقد شملت ساعة قياس في إحدى الجهات، وثلاثة مساطر قياس مع مشعرات معدنية دقيقة لقراءة الانتقالات على المساطر من الجهات الثلاث الأخرى، لعدم توفر ساعات قياس مخبرية أخرى كافية.



صورة توضح الصينية المعدنية الحاملة للحوض
مع حاضن الحوض

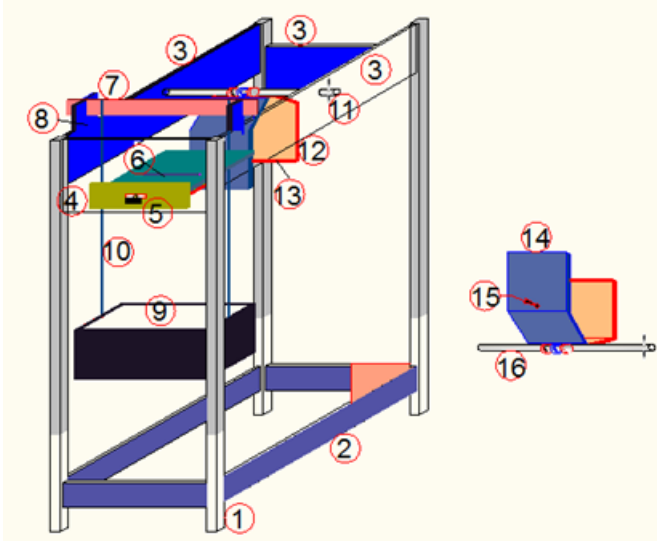


صورة توضح آلية قراءة الانتقالات



صورة توضح التجربة مع مساطر قياس الانتقالات من الجهات الأربعة
الشكل (9): جهاز التجريب اليدوي الأول (الجهاز الثاني)

الجهاز اليدوي الثاني (الجهاز الثالث) يبينه الشكل (10)، وهو يتألف من:



الشكل (10): جهاز التجريب متعدد الأغراض

- 1- أربعة قوائم حاملة 2- صفائح تثبيت وربط القوائم 3- صفائح تقوية وربط علوية للقوائم
- 4- صفيحة تثبيت حاملة للدرج وسكتيه 5- درج معدني متحرك ضمن سكتيه 6- شق إمرار طبقة التغطية 7- ذراع تطبيق الحملات على العينات 8- سكة تحرك الذراع 9- حوض أو صفيحة وضع الحملات 10- قضيب معدني لنقل التحميل 11- قضيب من الفولاذ المقسى حامل لملقط العينة
- 12- ملقط أو مقبض العينة 13- سكة إمساك طبقة تغطية العينة 14- ملقط أو مقبض ثانٍ للعينة
- 15- برغي شد الملقط على العينة 16- قضيب من الفولاذ المقسى للملقط

يلحق بالجهاز صفائح معدنية صلبة لتوضع العينة على الدرج مع مجموعة

أوزان التحميل، وساعات القياس التي توضع على حواملها في الأماكن المناسبة

حسب التجربة المطلوبة.

نظراً لسعي هذا البحث بالإضاءة على سلوك نواة اللوح بالضغط نبين فيما يلي،

فقط، مراحل إجراء تجارب الضغط للعينات على هذا الجهاز اليدوي الثاني من

خلال ما يبينه الشكل (11) لإحدى تجارب الضغط المنفذة التي تتم وفق الآتي:

1- تحضير العينة بالأبعاد المطلوبة للتجريب ووضعها على صفيحة معدنية

صلبة مستتدة على مقاطع سكة درج الجهاز (لاحظ أعلى العينة).

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

2- توضع فوق العينة صفيحة معدنية صلبة بأبعاد 10X10 cm، ثم يسند إليها ذراع تحميل العينة (لاحظ العينة والصفيحة والذراع أعلى الجهاز).



الشكل (11): نظام تجريب ضغط العينة

3- يوضع جهازا قياس انتقالات على أسفل ذراع التحميل يميناً ويساراً لرصد انضغاط 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).

سوف تجرى تجارب الضغط بالأجهزة الثلاثة على عينات أبعادها 100X100x d mm، حيث $d=81\text{mm}$ سماكة اللوح السندويشي المستخدم في البحث، علماً أنه ممكن إجراء الاختبارات بدقة كافية على الجهازين اليدويين بأية أبعاد أصغر مرغوبة، وبسماكة مختلفة.

تتم دراسة سلوك المادة المجربة، واشتقاق الخصائص الميكانيكية والفيزيائية لها من خلال إيجاد مخطط الإجهاد التشوه للعينات المجربة على الضغط بالمقطع الثابت حتى حصول الانهيار لها.

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (2) \quad \text{يحسب الإجهاد في العينات بالعلاقة الآتية:}$$

حيث تمثل A مساحة المقطع، و $N = F$ القوة المطبقة على العينة.
أما التشوه الحاصل لكل مرحلة من مراحل التحميل فيحسب للعينة بالمقطع الثابت

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3) \quad \text{بموجب العلاقة:}$$

حيث تمثل Δl مقدار الاستطالة التي تسجلها أجهزة القياس التجريبية، و $l = t_c$ سماكة النواة.

يتم حساب معامل الميول لمخطط الإجهاد التشوه لكل مرحلة من مراحل التحميل

$$E_i = \frac{\Delta \sigma_i}{\Delta \varepsilon_i} = \frac{\sigma_i - \sigma_{i-1}}{\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1}} \quad (4) \quad [7,8].$$

نتيجة اقتصار المضمون الجوهري لهذه الورقة العلمية على دراسة السلوك بالضغط للمادة المختبرة، نبين أن عدد العينات المجرية على الضغط لتحقيق هذا الغرض قد بلغ من نماذج الألواح الثلاث، وأجهزة التجريب الثلاثة 50 تجربة.

لقد دأبنا لدراسة سلوك حشوة العينة على المعالجة المستقلة للنتائج التجريبية الخاصة بكل جهاز من أجهزة التجريب الثلاثة المذكورة أعلاه، بغية إظهار التباين بين نتائجها، والتعرف أكثر على الأسباب التي يمكن أن تؤدي إلى هذا التباين.

لقد ميزنا أجهزة الاختبار الثلاثة المستخدمة بالتسميات الآتية:

1- الجهاز الآلي الميكانيكي المخبري بالشكل (8) كجهاز أول.

2- جهاز الضغط اليدوي الحوضي بالشكل (9) كجهاز ثانٍ.

3- جهاز الضغط اليدوي بالشكل (10) كجهاز ثالث.

4- النتائج والمناقشة:

نكتفي بعرض نتائج الدراسة تخطيطياً للعلاقة بين الإجهاد والتشوه للعينات المختبرة، ونبين جدولياً تغير قيم معامل مرونة النواة نتيجة المعالجة التحليلية بالعلاقات (2)، و (3)، و (4) لمراحل التحميل المتتالي لكل عينة من العينات المجرية مع قيمة الإجهاد المطبق على العينة.

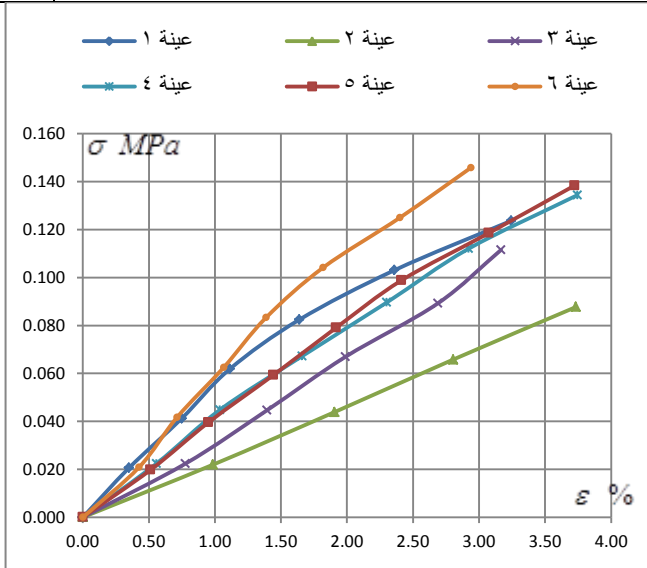
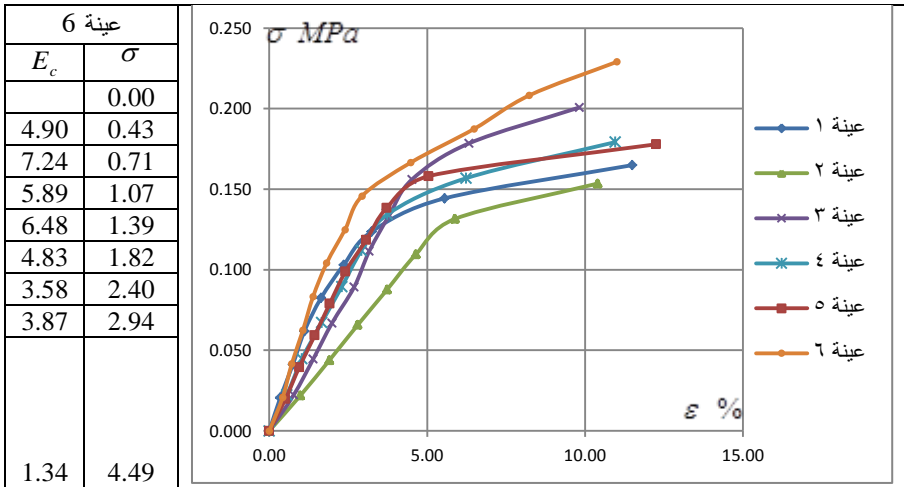
أولاً: نتائج تجريب عينات الضغط بالجهاز الأول الميكانيكي المخبري

عينة 5		عينة 4		عينة 3		عينة 2		عينة 1	
E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ
	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
3.86	0.020	4.02	0.022	2.88	0.022	2.23	0.022	5.89	0.021
4.52	0.040	4.67	0.045	3.60	0.045	2.38	0.044	5.17	0.041
4.01	0.059	3.60	0.067	3.76	0.067	2.44	0.066	5.67	0.062
4.16	0.079	3.49	0.090	3.19	0.089	2.36	0.088	3.91	0.082
3.99	0.099	3.62	0.112	4.66	0.112	2.40	0.110	2.86	0.103
2.98	0.119	2.72	0.134	3.52	0.134	1.77	0.132	2.33	0.124

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

3.05	0.138	0.90	0.157	3.08	0.156	0.49	0.154	0.89	0.144
1.49	0.158	0.47	0.179	1.24	0.178	0.35	0.175	0.35	0.165

σ : الاجهاد N/mm^2 ، E_c : معامل مرونة النواة N/mm^2 % ε



شكل (12): المخططات البيانية لسلوك عينات النموذج على الجهاز الأول الميكانيكي
الصورة الأعلى السلوك التجريبي للعينات والأدنى نشر مكبر لسلوك العينات خلال مراحل التحميل الأولى

ثانياً: نتائج تجريب عينات الضغط بالجهاز الثاني:

عينة 5		عينة 4		عينة 3		عينة 2		عينة 1	
E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ
	0.000		0.00		0.000		0.000		0.000
6.88	0.027	4.74	0.03	6.00	0.025	2.67	0.028	2.89	0.025

5.13	0.037	4.61	0.04	5.23	0.035	2.22	0.092	2.32	0.083
4.73	0.058	5.23	0.05	4.90	0.045	1.63	0.124	1.81	0.127
4.33	0.068	3.56	0.06	3.97	0.055	0.98	0.174	0.85	0.157
3.51	0.079	3.56	0.07	3.53	0.065	0.28	0.190	0.30	0.174
3.33	0.089	3.73	0.09	5.41	0.075	0	0.190	0.00	0.174
3.20	0.100	3.09	0.11	5.32	0.094			0.00	0.174
3.06	0.120	1.83	0.13	5.60	0.114			0.00	0.174
2.45	0.131	0.86	0.15	4.39	0.133			0.00	0.174
2.15	0.141	0.34	0.16	6.21	0.153				
1.66	0.152			6.47	0.173				

عينة 10		عينة 9		عينة 8		عينة 7		عينة 6	
E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ
	0.00		0.00		0.00		0.000		0.000
8.15	0.03	7.33	0.03	7.91	0.03	5.75	0.027	6.02	0.027
6.15	0.05	5.89	0.05	5.61	0.05	3.49	0.055	3.85	0.049
4.52	0.07	4.08	0.07	3.54	0.07	2.49	0.071	4.25	0.070
3.30	0.09	3.51	0.09	3.60	0.09	1.68	0.086	4.15	0.091
1.43	0.11	3.61	0.11	2.59	0.11	1.65	0.107	2.82	0.113
		2.33	0.13	0.86	0.12				
		2.33	0.14						

عينة 15		عينة 14		عينة 13		عينة 12		عينة 11	
E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ
	0.00		0.00		0.00		0.00		0.00
7.89	0.03	4.56	0.03	1.81	0.03	2.76	0.03	1.21	0.03
5.11	0.05	4.83	0.05	2.31	0.05	4.82	0.05	5.47	0.05
5.72	0.07	2.95	0.07	2.62	0.07	4.58	0.08	3.72	0.08
3.40	0.08	3.45	0.09	1.50	0.09	4.85	0.10	3.38	0.10
2.86	0.09	2.86	0.10			3.27	0.11	2.50	0.11
2.67	0.10								

عينة 20		عينة 19		عينة 18		عينة 17		عينة 16	
E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ
	0.000		0.00		0.00		0.00		0.00
4.72	0.034	3.16	0.02	8.24	0.03	4.03	0.01	8.22	0.03
5.21	0.052	1.37	0.05	7.91	0.04	4.78	0.02	3.92	0.05
5.03	0.070	1.64	0.07	5.86	0.06	4.83	0.03	5.34	0.08
5.05	0.088	2.27	0.08	6.87	0.07	4.70	0.04	3.29	0.10
4.67	0.106	3.83	0.10	4.68	0.08	4.31	0.05	5.76	0.11
6.16	0.124	3.10	0.12	4.55	0.09	3.25	0.07	6.60	0.12
6.85	0.142	6.00	0.13	5.61	0.10	3.64	0.08	5.86	0.13
6.47	0.158	2.60	0.15	4.11	0.12	3.89	0.09	3.06	0.14
3.33	0.174	2.41	0.17	7.48	0.14	2.99	0.10	2.91	0.16
3.75	0.212	2.00	0.18	7.59	0.17	2.64	0.11	2.89	0.17

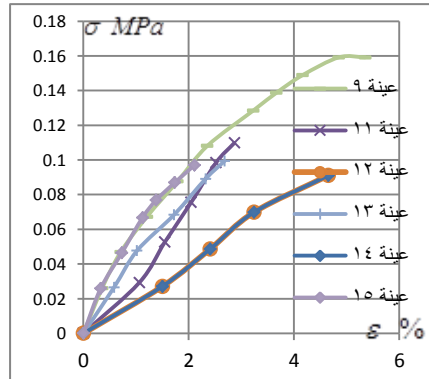
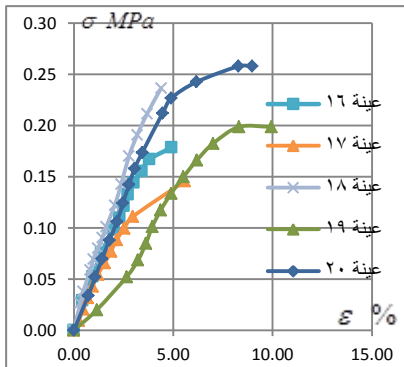
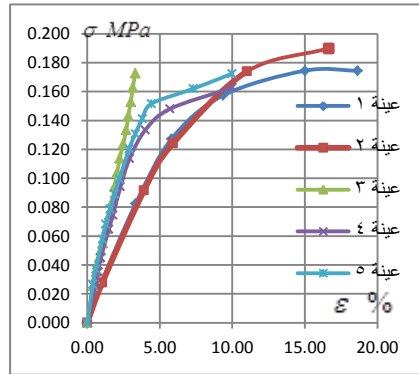
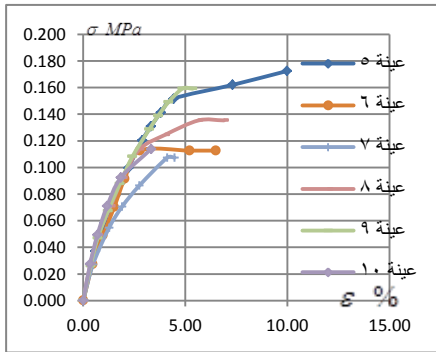
خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

4.25	0.227			4.98	0.19	1.33	0.15	8.22	0.18
------	-------	--	--	------	------	------	------	------	------

σ : الاجهاد N/mm^2 ، E_c : معامل مرونة النواة N/mm^2

عينة 22		عينة 21	
E_c	σ	E_c	σ
	0.00		0.000
5.61	0.01	7.58	0.017
5.38	0.02	6.72	0.033
6.66	0.04	6.89	0.050
8.09	0.05	7.48	0.066
9.43	0.07	6.21	0.083
2.58	0.08	7.83	0.116
		4.62	0.133
		4.40	0.151
		5.02	0.180
		5.48	0.236
		4.84	0.264

أما التمثيل البياني لنتائج اختبار العينات بالجهاز الثاني فهو مبين في الشكل (13).



الشكل (13): المخططات البيانية لسلوك عينات النموذج بالضغط بالجهاز الثاني

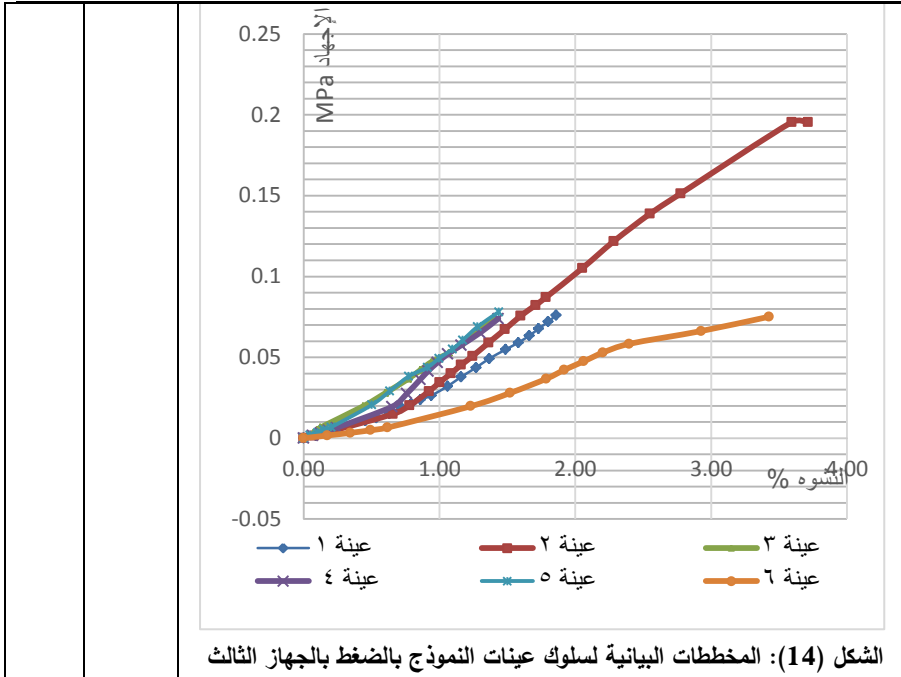
ثالثاً: نتائج تجريب عينات الضغط بالجهاز الثالث:

عينة 5		عينة 4		عينة 3		عينة 2		عينة 1	
E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ	E_c	σ
	0.000		0.000		0.000		0.000		0.000
3.70	0.002	2.53	0.002	3.75	0.002	0.9	0.002	1.80	0.002
3.01	0.003	2.66	0.003	5.78	0.003	1.95	0.010	2.52	0.011
3.81	0.005	2.72	0.005	6.20	0.005	2.46	0.012	2.19	0.013
3.05	0.007	2.73	0.006	6.91	0.007	1.12	0.014	2.69	0.015
4.61	0.021	3.19	0.019	4.17	0.020	3.07	0.019	3.76	0.019
6.39	0.029	7.43	0.028	4.99	0.028	2.38	0.033	3.80	0.021
6.58	0.038	8.85	0.036	5.23	0.037	3.66	0.036	3.80	0.024
4.05	0.044	8.95	0.042	6.07	0.042	2.81	0.046	3.21	0.026
6.49	0.049	7.73	0.047	6.13	0.047	3.52	0.052	4.76	0.032
5.78	0.055	6.92	0.052	4.33	0.053	2.32	0.057	5.86	0.038
7.37	0.061	5.45	0.057	5.83	0.058	3.51	0.063	5.19	0.044

عينة 6	
E_c	σ
	0.000
0.96	0.002
0.95	0.003
1.09	0.005
1.33	0.007
2.15	0.020
2.82	0.028
3.30	0.037
4.14	0.042
3.69	0.047
3.85	0.053
2.80	0.058

يبين الشكل (14) المخططات البيانية لسلوك عينات النموذج بالضغط على هذا الجهاز الثالث.

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/



σ : الاجهاد N/mm^2 ، E_c : معامل مرونة النواة N/mm^2

• مناقشة نتائج التجريب على الجهاز الأول:

يستنتج من المخططات البيانية في الشكل (12) أن سلوك العينات يمكن وصفه رغم بعض التمايزات بشبه الخطي ضمن مجال إجهاد لم يتجاوز لأي من العينات $0.18 N/mm^2$ ، علماً أن هذا المجال قد انخفض لبعض العينات حتى $0.09 N/mm^2$. وهذا ربما يدل من ناحية على انخفاض التجانس الظاهري لبنية النواة، ومن ناحية أخرى أن تحميلها بسرعة القفزات الكبيرة غير المضبوطة بيسر لهذا الجهاز لم يتيح للعينات أن تكيف نفسها بشكل كافٍ لتسلك سلوكاً متقارباً خلال مراحل التحميل.

• مناقشة نتائج التجريب على الجهاز الثاني:

يلاحظ من النتائج والمخططات البيانية لسلوك العينات المختبرة بالجهاز الثاني، والمبينة في الشكل (13)، أن العديد منها يتوافق في السلوك تقريباً وبمبول متقاربة لمخططاتها البيانية حتى مراحل متقدمة من التحميل وصولاً إلى إجهاد الانهيار لكل منها، وهذا يلاحظ على العينات 3، 4، 5، 6، 7، 8، 9، 15، وكذلك 16،

و 20 إذا استثنينا منهما ذاك التقعر الطفيف الحاصل لتسارع التشوهات ضمن المراحل المتوسطة للتحميل نتيجة إعادة تكييف نواة العينة لنفسها بزيادة كثافتها أثناء التحميل الذي يتم ربما بإعادة الإملء المتدرج للفراغات غير منتظمة التوزع في تصنيعها داخل العينة ونواتها، إذ أبدت بعد هذا التكييف، كما يلاحظ، ميلاً أكبر لمخططها البياني، وتحملاً أكثر للإجهادات.

كما أبدت العينتان 1، و 2 سلوكاً متطابقاً تماماً فيما بينها حتى مراحل ما قبل بدء الانهيار لكلٍ منهما، وهو شبيه شكلياً بسلوك العينات الأخرى المذكورة أعلاه مع قابلية أكبر للتشوه، الأمر نفسه ينطبق على العينة 17 رغم أن تشوهها السريع قد جاء تحت تأثير إجهادات أبكر قليلاً من مثيلاتها الأخرى في السلوك.

أضعف العينات المجربة هي العينات 12، 14، و 19، التي أظهرت أيضاً توافقاً كبيراً في سلوكها خلال مراحل التحميل الأولى للعينتان المتطابقتان تماماً في سلوكهما 12، و 14، بينما أعادت العينة 19 تكييف نفسها فتراجعت سرعة تشوهها عن مراحل التحميل الأولى حتى بدء مراحل الانهيار فيها. (اقتصار تحميل العينتين 12، و 14 حتى الحدود المبينة على المخططات موظف لأغراض بحثية أخرى غير معنية بها هذه الورقة العلمية).

نقبل القول أن سلوك العينتان 11، و 13 يظهر أنه يتوسط تقريباً سلوك مجموع العينات المجربة رغم أنهما لم تحملا إلا بمقدار يسمح لنا بتوظيف هذا التحميل المحدود لأغراض أخرى غير معنية بها هذه الورقة العلمية، أما العينتان اللتان أبدأنا ميلاً أقل للتشوه من غيرها كانتا العينتين 18، و 21، إذا استثنينا مرحلة التقعر للأولى نتيجة التكييف الذاتي للعينة، وبعض مراحل التحدب للثانية.

• مناقشة نتائج التجريب على الجهاز الثالث:

لقد أجريت تجارب على الجهاز الثالث لسبع عينات من النموذج المدروس، التي يبين الشكل (14) المخططات البيانية لسلوكها خلال مراحل التحميل، إذ يستنتج من هذه المخططات أن بعضها قد حملت حتى بدء حصول الانهيار كما الحال هو للعينة 2 التي سلكت سلوكاً خطياً تقريباً ما بعد مراحل التحميل الأولى وإعادة هيكلتها فراغاتها الداخلية إلى أن وصل إجهاد بدء الانهيار فيها إلى ما يقارب 0,2 MPa تقريباً، أما باقي العينات فقد حملت بالمقدار الكافي للاستدلال بألية سلوكها

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

ما بعد هذه المراحل المبينة، إذ يسهل الاستقراء من خلال الاستدلال بسلوك العينة (2) بعد مرحلة هيكله ذاتها للتحميل المتزايد أن سلوك غالبية هذه العينات يتجه



لأن يصبح كالعينة 2 خطأً بعد مراحل التحميل الأولى التي تسعى خلالها العينات لإعادة هيكله فراغات البنيوية وغير البنيوية إن وجدت داخل النواة كعيوب تصنيع مثلاً، كما يظهره الشكل (15).

شكل (15): عيوب تقنية تصنيع الألواح

لتبيان درجة قابلية النماذج المجربة بالأجهزة الثلاثة للتشوهات أدرجنا في الجدول (1) الآتي متوسط التشوه لعينات النماذج المختبرة بهذه الأجهزة عند مرحلة إجهاد خضعت لها جميع العينات المجربة، ومقدارها 0.08 MPa.

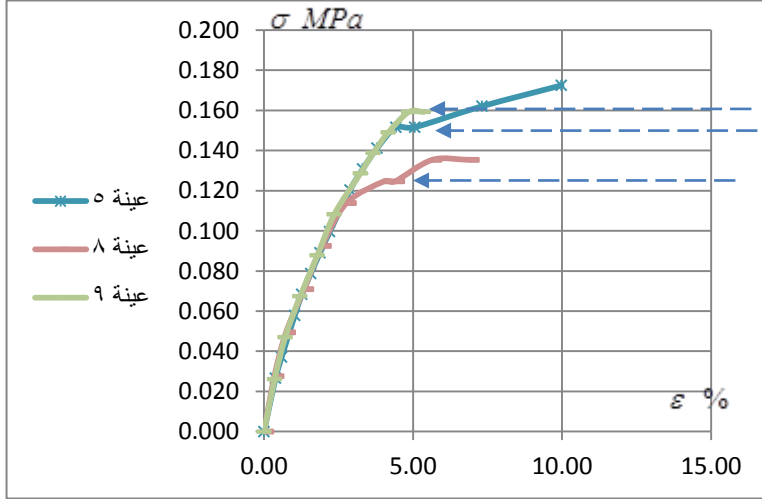
الجدول (1): متوسط تشوه العينات بالأجهزة الثلاثة لإجهاد 0.08MPa

الجهاز الثالث	الجهاز الثاني	الجهاز الأول	الجهاز
2.43	2.34	2.25	متوسط تشوه العينات % عند إجهاد 0.08MPa

يمكن الاستقراء من خلال هذه القيم الجدولية بمقارنة نتائج الاختبار بالأجهزة الثلاثة لعينات النموذج أن الاختبار بالجهاز الثالث يتيح لنواة العينة أن تكيف فراغاتها الداخلية أكثر أثناء التحميل من خلال توفر إمكانية أكبر لتدرج تطبيق الإجهادات عليها مقارنة بالجهازين الآخرين، وكذا الأمر للجهاز الثاني نسبة للأول، وهذا يتوافق أكثر مع طبيعة بطء وتدرج تطبيق التحميل على الألواح السندويشية كعناصر إنشائية.

الأمر المهم الذي نود تبيانه أن تفاوت قيم إجهادات الانهيار لعينات النموذج نفسه المجربة بالأجهزة الثلاثة، التي حددت استناداً إلى القيمة المقابلة لبدء تشكل التشوه الذاتي الذي يلي حالة التحميل القائمة لنواة العينة المجربة مباشرة دون فاصل زمني ملموس، كما تشير الأسهم المبينة على الشكل (16) لبعض العينات المختبرة، كان كبيراً. إذ بدأ عند 0,12 MPa لبعض العينات، ووصل إلى 0,3 MPa لبعضها الآخر، بينما يصل التشوه المرافق إلى 5% تقريباً. هذا التباين في

قيم إجهادات الانهيار ناجم بالدرجة الأولى عن قلة التجانس في بنية النواة للنموذج نفسه العائد لانخفاض تقنية التصنيع، وتشكل عيوب داخلية فيها كل حسب مصدره، كما يبدو ذلك من خلال الشكل (15)، ويتأثر حسابه بالدرجة الثانية بدرجة دقة الأبعاد المقاسة لعينات النموذج نفسه، وإجراءات تحضيرها للتجريب.



الشكل (16): تحديد إجهاد انهيار العينات

نمذجة السلوك المعياري لعينات النموذج الواحد المجرية:

لا يعتد بنتائج 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 المجرية إلى سلوك ميكانيكي معياري، غالباً خطي، ضمن مجال محدد للتحميل ليلبي شروط التحليل والتصميم بنظرية المرونة بمقدار كافٍ، وآخذاً في الحسبان تقنية إنتاج المادة، وظروف تحميلها، واختبارها. تتمثل عوامل الإرجاع المعيارية لتجارب الضغط بثلاثة عوامل جوهرية، الإجهاد، والتشوه، ومعامل المرونة.

هذا الأمر ينطبق أيضاً على المادة المختبرة في هذه الورقة العلمية، إذ لاحظنا من خلال المخططات البيانية لسلوك العينات المختبرة أن غالبيتها يتجه للسلوك

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

الخطي المتقارب فيما بينها ضمن مراحل تحميل معينة كلما كانت بنية نواتها أكثر تجانساً، كما بدأ تأثير ذلك بعد مراحل التحميل الأولى.

فطالما يقتصر 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 بالضغط من النموذج نفسه وعلى الجهاز نفسه إلى سلوك خطي حتى بدء تشكل إجهاد الانهيار فيها.

لأجل هذا الغرض وللاخذ في الحسبان أن يشمل معامل المرونة 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 للعيينة المجربة لتخطي، على الأقل، مجالات مراحل التحميل الأولى لإعادة هيكلة النواة لبنيتها الداخلية وصولاً إلى قيمة بدء انخفاض هذا المعامل في مراحل التحميل الأخيرة للعيينة، 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 المجربة 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 المجربة هي أربع، سوف تكون معاملات المرونة لهذه المراحل هي E_1 ، E_2 ، E_3 ، E_4 ، التي ستجري عملية التوسيط المتتالي لها حسب ما تبينه المصفوفة الآتية:

معاملات التجريب	التوسيط الأول المتتالي	التوسيط الثاني	التوسيط الثالث والأخير
E_1	-	-	-
E_2	$(E_1 + E_2) / 2$	-	-
E_3	$(E_2 + E_3) / 2$	$(E_1 + E_2 + E_2 + E_3) / (2 \cdot 2)$ $= (E_1 + 2E_2 + E_3) / 2^2$	-
E_4	$(E_3 + E_4) / 2$	$(E_2 + E_3 + E_3 + E_4) / (2 \cdot 2)$ $= (E_2 + 2E_3 + E_4) / 2^2$	$(E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4) / (2 \cdot 2 \cdot 2)$ $= (E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4) / 2^3$

بذلك يكون معامل المرونة المرجعي للسلوك المعياري للعينة مساوياً حسب

$$E = (E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4) / 2^3 \quad \text{التوسيط الثالث والأخير:}$$

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.

لنفترض أن عينة أخرى ممثلة بمرحلتين بمعاملين مرونة E_1, E_2 ، سوف

$$(E_1 + E_2) / 2 \quad \text{يساوي معامل المرونة المعياري:}$$

أما لو افترضنا أن عينة أخرى ممثلة بمراحل تحميل ثلاث وبمعاملات مرونة E_1, E_2, E_3 ، سوف يساوي معامل المرونة المعياري:

$$E = (E_1 + 2E_2 + E_3) / 2^2$$

يلاحظ من هذه العلاقة أن القيمة المتوسطة لمعاملات المرونة E_2 قد دخلت بمثلين في هذه العلاقة، فهكذا تبرز 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.

كومبيوترياً 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.

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:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & \blacktriangledown & \blacktriangledown & 3 \\ 0 & 0 & \blacktriangledown & 3 \\ 0 & 0 & 0 & \blacktriangleright \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} E_1 & E_2 \end{bmatrix} \times [1 \ 1]^{-1} = \frac{E_1 + E_2}{2} \quad \text{بالتالي، نهاية التوسيط لمعامل مرونة يساوي:}$$

ونهاية التوسيط لثلاثة عوامل مرونة يساوي:

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
طبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

$$\frac{[E_1 \ E_2 \ E_3]}{2^{3-1}} \times [1 \ 2 \ 1]^{-1} = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3}{2^2}$$

ونهاية التوسيط لأربعة عوامل مرونة يساوي:

$$\frac{[E_1 \ E_2 \ E_3 \ E_4]}{2^{4-1}} \times [1 \ 3 \ 3 \ 1]^{-1} = \frac{E_1 + 3E_2 + 3E_3 + E_4}{2^3}$$

ونهاية التوسيط لعدد n من عوامل المرونة يساوي:

$$\frac{[E_1 \ E_2 \ \dots \ E_{n-1} \ E_n]}{2^{n-1}} \times [1 \ (n-1) \ \dots \ (n-1) \ 1]^{-1}$$

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

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.

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

مثال: إذا أدخلنا في حساب معامل المرونة المعياري للعينة 3 من النموذج

المجربة بالجهاز الثاني القيم التسع الأولى نجد أن نهاية التوسيط لهذه القيم هي:

$$E_{c3} = \frac{E_1 + 8E_2 + 28E_3 + 56E_4 + 70E_5 + 56E_6 + 28E_7 + 8E_8 + E_9}{2^{9-1}} =$$

$$\frac{6 + 8 \cdot 5.23 + 28 \cdot 4.9 + 56 \cdot 3.97 + 70 \cdot 3.53 + 56 \cdot 5.41 + 28 \cdot 5.32 + 8 \cdot 5.6 + 4.39}{2^8} = 4.51 \text{MPa}$$

هكذا نجد أن هذا المعامل المعياري لنتائج العينات بالجهاز الأول الميكانيكي هو

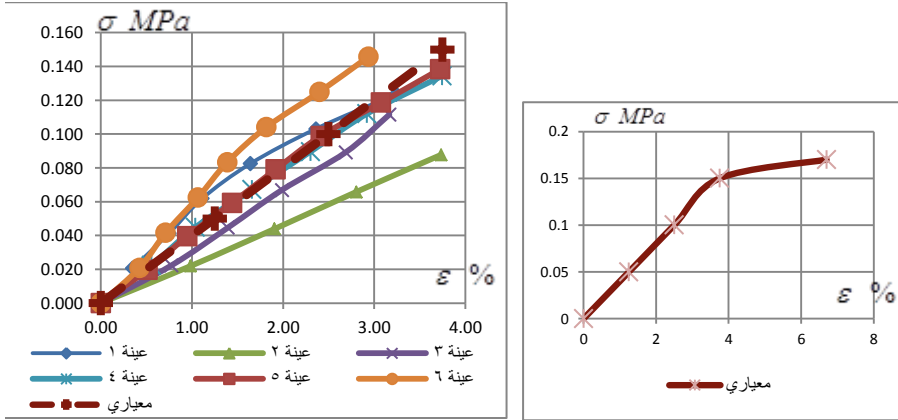
المعطى في الجدول (2).

الجدول (2): المعاملات المعيارية للنموذج بالجهاز الأول

رقم العينة	1	2	3	4	5	6
عدد المعاملات المشمولة	6	5	7	6	7	7
المعامل المعياري Eci	4.5	2.39	3.73	3.72	3.99	5.69

24.02	المجموع
$E_c = 24.02 / 6 = 4.00MPa$	E_c المعياري النهائي

أما إجهاد الانهيار σ_c فيصل إلى $0.15MPa$. بالتالي يصبح مخطط السلوك المعياري كما في الشكل (17)، ليأخذ موقعه للمقارنة بين عينات الاختبار كما في الشكل (17).



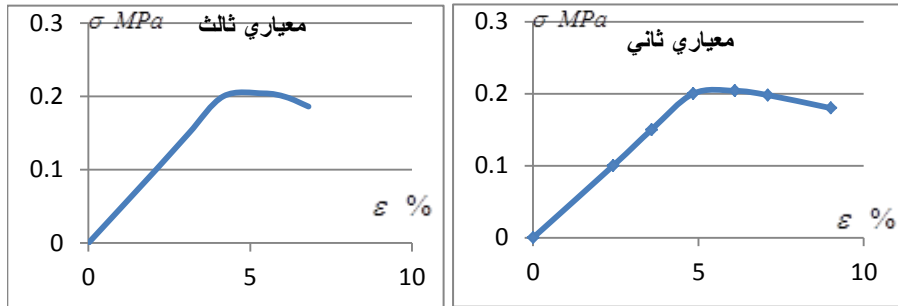
شكل (17): مخطط السلوك المعياري بالضغط لنموذج الألواح بالجهاز الآلي الميكانيكي الأول بالطريقة نفسها نجد أن هذا المعامل المعياري لنتائج اختبار عينات نموذج الألواح بالجهاز الثاني يأخذ قيمة الإفرادية للعينة والنهائية للنموذج كما هي مدرجة في الجدول (3).

الجدول (3): المعاملات المعيارية لعينات النموذج بالجهاز الثاني

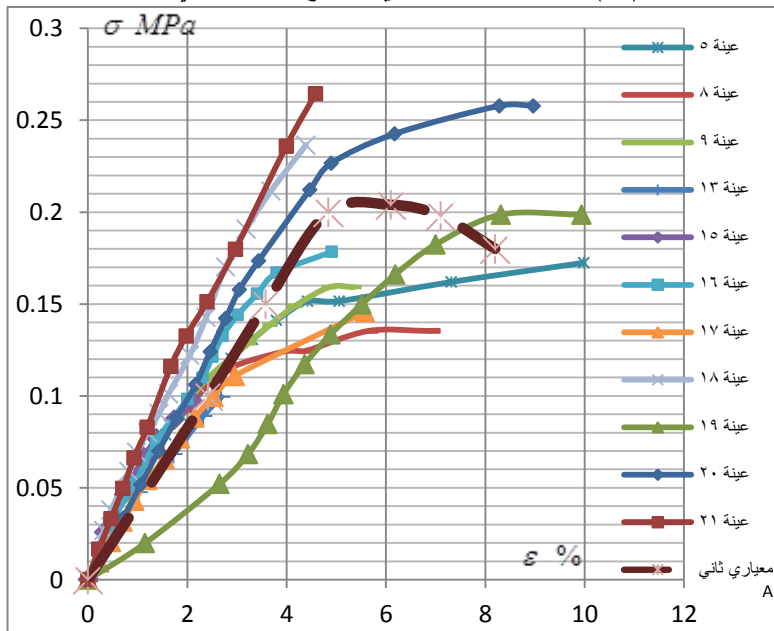
رقم العينة	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
عدد المعاملات المشمولة	4	3	9	8	8	5	4	5	6	4	5
المعامل المعياري Eci	2.0	2.2	4.5	3.9	4.0	4.2	3.2	4.3	4.6	5.43	3.8
رقم العينة	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
عدد المعاملات المشمولة	5	4	5	6	7	10	9	7	8	8	
المعامل المعياري Eci	4.5	2.3	3.6	4.43	4.9	4.0	5.5	3.5	5.2	6.9	
المجموع	86.77										
E_c المعياري النهائي	$E_c = 86.77 / 21 = 4.13MPa$										

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

أما إجهاد الانهيار σ_c فيصل إلى $0.20MPa$. بالتالي يصبح مخطط السلوك المعياري كما في الشكل (18)، وبأخذ موقعه للمقارنة بين عينات الاختبار كما في الشكل (19).



شكل (18): مخطط السلوك المعياري للنموذج بالجهاز الثاني والثالث



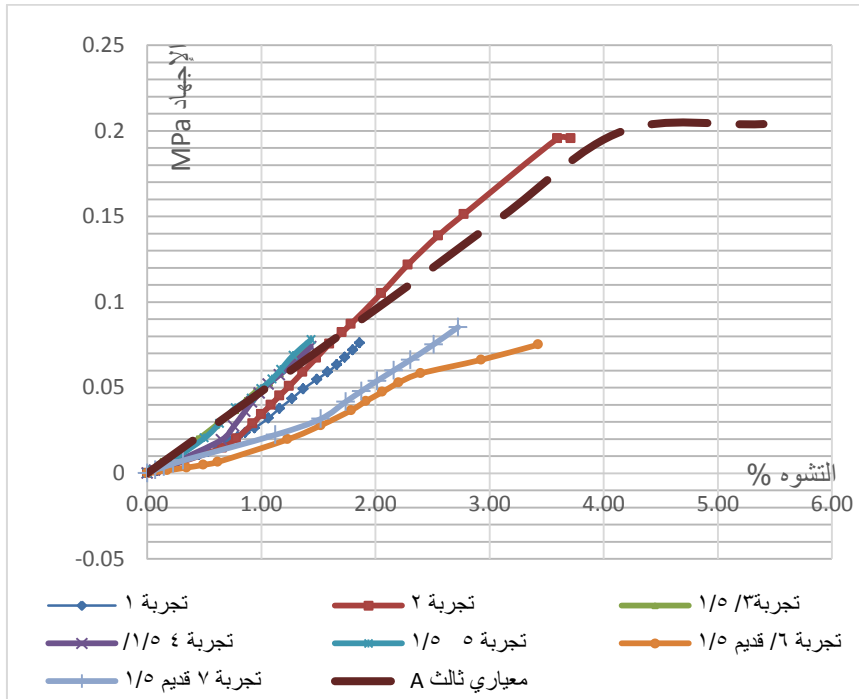
شكل (19): المخطط البياني للسلوك المعياري بين المخططات البيانية لعينات النموذج المختبرة على الجهاز الثاني كذلك نجد أن هذا المعامل المعياري لنتائج اختبار العينات بالجهاز الثالث يأخذ قيمه الإفرادية للعينة، والنهائية للنموذج كما هي مبينة في الجدول (4).

الجدول (4): المعاملات المعيارية لعينات النموذج بالجهاز الثالث

رقم العينة	1	2	3	4	5	6	7
عدد المعاملات المشمولة	16	16	13	13	13	11	12

2.40	2.71	5.53	6.34	5.40	2.30	4.39	Eci المعامل المعياري
33.58							المجموع
$E_c = 33.58 / 7 = 4.15MPa$							E_c المعياري النهائي

أما إجهاد الانهيار σ_c فيصل إلى $0.20MPa$.
 بالتالي يصبح مخطط السلوك المعياري كما في الشكل (18)، ليأخذ موقعه للمقارنة بين عينات الاختبار كما في الشكل (20).



شكل (20): المخطط البياني للسلوك المعياري بين المخططات البيانية لعينات النموذج على الجهاز الثالث

إن اقتصار إجراء عدد كبير من التجارب بالجهاز الثاني على النموذج المختبر، إنما جاء فقط لتكوين مرجعية كافية لاستقراء عدد التجارب التي ينبغي إجراؤها كحدٍ أدنى للحصول على السلوك المعياري التصميمي لنموذج الألواح السندوشية المستخدمة في العناصر الإنشائية المطلوبة، إذ لم يعد هناك حاجة لإجراء العدد نفسه على الأجهزة الأخرى لاستقراء المطلوب، بل تم الاكتفاء بإجراء الاختبارات على عدد محدود من عينات النموذج، وبالأجهزة الأخرى لإبراز إمكانية وتقنية إجراء الاختبارات عليها.

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
بطبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوإيثان /PUR/

هكذا نجد أنه يمكن الحصول على قيمة معامل المرونة المعياري، وبالتالي إجهاد الانهيار المعياري التصميمي لعينات النموذج وفقاً لما هو مبين في الجدول (3) بدقة كافية، أيضاً، من خلال إيجاده لكل 12 عينة مجربة متتالية من هذا الجدول. إذ تزداد هذه الدقة كلما ازداد أكثر عدد نتائج العينات الداخلة في التقييم، ويزداد التباين كلما قل أكثر عدد العينات الداخلة في التقييم عن 12 عينة. إن اختبار طبقة التغطية وتحديد خصائصها الميكانيكية، وتعيين مخطط السلوك المعياري لنواة الألواح السندويشية، يسمحان بتحديد الخصائص الميكانيكية الفيزيائية اللازمة على الضغط لتصميم العناصر الإنشائية المكونة منها. لذلك، ويقبول أن $E_f = 210000MPa$ لطبقة تغطية اللوح، وأن $\nu = 0.06$ كمعامل للتمدد العرضي لمادة النواة [3]، نجد حسب العلاقة (1) أن الإجهاد الحرج لانهيار اللوح السندويشي هو المبين في الجدول (4) لأجل معاملات المرونة المعيارية للنواة المستقاة بموجب استخدام أجهزة الاختبار الثلاثة.

الجدول (4): الإجهاد الحرج لمعامل المرونة المعياري لكل جهاز

جهاز الاختبار	جهاز أول	جهاز ثانٍ	جهاز ثالث
معامل المرونة المعياري	4.0MPa	4.13MPa	4.15MPa
الإجهاد الحرج MPa	106	108	109

يشير هذا التقارب في قيم معاملات المرونة للنموذج نفسه من الألواح والإجهاد الحرج المرافق إلى جدوى الاختبار بأحد الأجهزة الثلاثة، علماً أن اختبار لوحين من هذا النموذج بالتحميل حتى الانهيار أظهر أن الإجهاد الحرج لهذا الانهيار قد تجاوز $111MPa$ ، وهو يوضح أن النتائج التي تم الحصول عليها بالجهاز الثالث كان أكثر دقة من غيره، عدا سهولة العمل به، وتعدد وظائفه نسبة للجهازين الآخرين.

لهذا الغرض أدرجنا في الجدول (5) مقارنة تفصيلية بين الأجهزة الثلاثة مستخدمة في اشتقاق السلوك المعياري على الضغط لعناصر الألواح السندويشية بحشوة مادة الفوم الصلبة.

الجدول (5): مقارنة تقنيات الأجهزة الثلاثة المستخدمة في تجارب الضغط لنوى الألواح السندويشية

الجهاز الثالث	الجهاز الثاني	الجهاز الأول
يدوي	يدوي	آلي
مصنع للبحث خصيصاً لاختبار مثل هذه المواد الحساسة على الضغط وسواه	مصنع للبحث خصيصاً لاختبار مثل هذه المواد الحساسة على الضغط	متوفر في المخبر، وغير مخصص لاختبار مثل هذه المواد الحساسة على الضغط دون إجراءات معايرة دقيقة خاصة دوماً
حساسية عالية لفقرات التحميل حتى الصغيرة منها	حساسية منخفضة لفقرات التحميل الصغيرة جداً	خطوات تحميل كبيرة نسبياً
يمكن التحكم بعدد الفقرات (الخطوات) أكثر	يمكن التحكم بعدد الفقرات (الخطوات)	عدد فقرات قليل لتوصيف السلوك
سرعة أبطأ من الآلي ويمكن التحكم بها دوماً	سرعة أبطأ (ربع ساعة وأكثر) ويمكن التحكم بها	سرعة التحميل كبيرة (نصف دقيقة)
قفزة التحميل دقيقة جداً (أوزان)	قفزة التحميل دقيقة جداً (أوزان)	ارتياب دقة قيمة قفزة التحميل
يسمح للنواة بهيكلتها نفسها أثناء التجربة	يسمح للنواة بإعادة هيكلتها نفسها أثناء التجربة	لا يسمح للنواة بإعادة هيكلتها بشكل كاف أثناء التجربة
يمكن إطالة زمن تأثير التحميل حسب الطلب	يمكن إطالة زمن تأثير التحميل حسب الطلب	زمن ثبات تأثير التحميل على العينة قليل جداً (يتراجع ضغط الزيت)
يسمح بمراقبة تشوهات لحظية ومستمرة	يسمح بمراقبة تشوهات لحظية ومستمرة	يسمح بمراقبة تشوهات لحظية فقط
متعدد إمكانيات الاختبار	صالح لاختبار الضغط فقط	صالح لاختبار الضغط فقط
يحتاج لمقاييس تشوه	يحتاج لأربعة مقاييس تشوهات	يحتاج لمقياس تشوهات واحد
يمكن التحكم بدرجة التأثير الديناميكي للتحميل	يمكن التحكم بدرجة التأثير الديناميكي للتحميل	ليس لنظام التحميل تأثير ديناميكي على العينات
يخضع لاحتمالات عدم التوزع المنتظم للتحميل المضبوط أثناء التجريب	يخضع لاحتمالات عدم التوزع المنتظم للتحميل المضبوط أثناء التجريب	توزع منتظم للتحميل
تصلح نتائجه لكل حالات التحميل المباشر وسواه	تصلح نتائجه لكل حالات التحميل المباشر وغيره	تصلح نتائجه للتحميل المباشر أكثر

توضح المقارنة الواردة في هذا الجدول أهمية التوجه لتطوير العمل بالجهاز الثالث
كجهاز مخبري متعدد الوظائف مخصص لدراسة بارامترات السلوك المعياري
التصميمي لمثل هذه المواد الحساسة المستخدمة في الجمل والعناصر الإنشائية.

5: الاستنتاجات والتوصيات

5-1: النتائج:

خصائص السلوك المعياري بالضغط للعناصر السندويشية الخفيفة المنتجة محلياً
طبقتي تغطية معدنيتين ونواة من البوليوريثان /PUR/

- 1- يتم تصميم العناصر الإنشائية بالألواح السندويشية المكونة من طبقتي تغطية معدنيتين وحشوة بينهما من مادة البوليوريثان باشتراط خصائص السلوك المرن التي تتمتع بها هذه المكونات.
- 2- يشترط التحليل الإنشائي تحقيق مكونات اللوح المستخدم للخصائص الميكانيكية والفيزيائية الداخلة في قوانين التصميم، والتي من أهمها إجهاد ضغط النواة، وإجهاد التجعيد الحرج لطبقة التغطية σ_{cr} المرتبط بخصائص طبقة التغطية ونواة اللوح.
- 3- برهن البحث جدوى توطين وسائل التجريب المعتمدة وأسسها لاشتقاق القيم المعيارية التصميمية لمكونات مثل هذه الألواح.
- 4- تباين تقنية إنتاج الألواح السندويشية يتطلب إيجاد مخطط سلوك معياري تصميمي مبني على نتائج اختبار عينات عشوائية من الألواح المستخدمة في المنشأة الهندسية لا يقل عددها عن اثنتي عشر عينة.
- 5- يحدد معامل المرونة المعياري للعينات المجربة بإيجاد متوسط نهايات التوسيط لمعاملات المرونة للعينات المجربة بالطريقة الرياضية المعروضة في متن هذا البحث.
- 6- يحدد إجهاد انهيار ضغط النواة بالقيمة المقابلة لبدء تشكل التشوه الذاتي الذي يلي حالة التحميل القائمة لنواة العينة المجربة مباشرة دون فاصل زمني ملموس.
- 7- يفضل إجراء اختبارات النواة أكثر على الجهاز الثالث المذكور في متن هذه الورقة العلمية ليلبي أكثر مستلزمات تحديد إجهاد الانهيار بدقة، ويقدم ظروفاً أفضل لمتابعة متغيرات التجربة أثناء التحميل لتوفر إمكانية تحميل العينة بخطوات صغيرة جداً.
- 8- مخطط السلوك للتحميل المستمر بالجهاز الثالث يتم الحصول عليه بحذف نتائج التشوه الذاتي الذي يمكن تشكله خلال مراحل التحميل الأخيرة للعينة نتيجة الفواصل الزمنية لإضافة التحميل.

5-2: التوصيات

- 1- الاهتمام مستقبلاً باستمرار إجراء أبحاث علمية تجريبية تحليلية على مثل هذه الألواح السنويشية لترسيخ توطين استثمار منتجاتها المحلية علمياً.
- 2- تزويد مخبر الكلية مستقبلاً بجهاز خاص لاختبار مثل هذه المواد الحساسة جداً لتعميم نتائجها العلمية على الأوساط الهندسية الأخرى.
- 3- يعد الجهاز الثاني المعروف في متن هذه الورقة العلمية أساساً يبنى عليه حالياً لإجراء اختبارات الضغط لهذه المواد، مع إمكانية إدخال تقنيات أخرى عليه للحصول على ظروف اختبار أيسر ونتائج أدق.
- 4- يعد الجهاز الثالث المعروف في متن هذه الورقة العلمية أساساً يبنى عليه حالياً، وبديلاً عن الجهاز الثاني نظراً للميزات التي يتمتع بها من اختبار للضغط، والشد، والقص لهذه المواد، مع إمكانية تطويره أكثر بإدخال تقنيات أخرى عليه للحصول على ظروف اختبار أيسر ونتائج أكثر دقة.

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
- [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] Zenkert, D.: *An introduction to sandwich construction*, Engineering Materials Advisory Services Ltd, Solihull, UK, pp.1-60, 1995.
- [7] Sakkour, Akram: *Mechanics of Materials*, Bd. 1, Tishreen University, pp. 1-700, 2016.
- [8] Sakkour, Akram: *Mechanics of Materials*, Bd. 2, Tishreen University, pp. 1-710, 2012.