طريقة جديدة لتعيين معامل بواسون للمواد البلاستيكية بدلاً من الطريقة الكلاسيكية

د. محمد سمير البرزاوي[1]

الملخص

نظراً الى وجود ملاحظات كثيرة على تعيين معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية للمواد البلاستيكية ولاسيّما الطرية منها باستخدام مقياسيين للانفعال عرضي وطولي بسبب تاثير هذين المقياسيين في نتيجة الاختبار فقد حسب في هذا البحث معامل بواسون بالاختبار بالحالة الإجهادية الحجمية عند تأثير حالة إجهادية ثلاثية الأبعاد لثلاث مواد بلاستيكية، هي البولي اتيلين عالي الكثافة والبولي بروبلين راندوم والبولي فينيل كلورايد ومقارنتها بالنتائج الناتجة عن حساب معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية باستخدام مقياسين للإنفعال طولي وعرضي. بينت النتائج وجود تقارب كبير بين القيمتين اذ انّ قيم معامل بواسون المعينة بالحالة الاجهادية الحجمية تعطي قيماً أعلى قليلاً من القيمة المعينة بالطريقة الكلاسيكية. كما بيّنت النتائج أنّه يمكن استخدام طريقة الاختبار بالحالة الإجهادية الحجمية لقياس معامل بواسون بدلاً من الطريقة الكلاسيكية.

الكلمات المفتاحية: معامل بواسون، معامل التمدد الحجمي، بولي أتيلين عالي الكثافة، بولي بروبلين راندوم، بولي فينيل كلورايد.

[1]مدرس في قسم هندسة التصميم الميكانيكي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق

New method to Determine the Poisson Ratio for Plastic Materials instead of the Classical Method

Dr. Eng. Mohamad Samir ALRZAWI[(1)]

Abstract

Many comments on determining Poisson ratio for plastic materials, especially the soft, by classical method using Longitudinal and Reveres tensometers due to their effects on the test result. Thus, poisson Ratio is Calculated based on Volume Stress State method for High Density Polyethylene, polypropylene random and polyvinyl chloride. The Results are compared with the Classical Method using Longitudinal and Reveres tensometers. The results showed that the two values are close and the values determined by the volume stress state method are slightly higher than the values determined by the classical method. This study has showed that we can determine the poisson ratio from volume stress method instead of the classical one.

Key Words: Poisson ratio, Bulk Modulus, High Density Polyethylene, Polypropylene random, polyvinyl chloride.

[(1)] Department of Mechanical Design Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus university, Damascus, Syria.

1- المقدمة:

تمثل نسبة بواسون، النسبة بين الانفعال العرضي إلى الانفعال الطولي عندما يؤثر في العينة إجهاد ضمن حدود المرونة. عندما تشدّ المادة في أحد الاتجاهات، فإنّها تميل إلى التقلص في الاتجاهين الآخرين، وعلى العكس عندما نضغط المادة في أحد الاتجاهات فإنّها تميل إلى التمدد في الاتجاهين الباقيين، وتكون نسبة بواسون ν هي المقياس لهذا الميل للتمدد والتقلص، وهي: لاواحدة لها [1,2,3,4]. ومن ثمّ يمكن كتابة علاقة نسبة بواسون بالشكل:

$$\upsilon = -\frac{d\varepsilon_{trans}}{d\varepsilon_{axial}}$$

تراوح قيم معامل بواسون للمواد المعروفة من 1- حتى 0.5 اذ تكون قيم معامل بواسون لغالبية المعادن بين الحدين 0.25 حتى 0.35 [5]. تختلف هذه القيم للمواد البوليميرية: فمثلاً المطاط ذو نسبة معامل بواسون تعادل تقريباً 0.5 ،وهي مادة فعلياً غير قابلة للانضغاط كونه فعلياً يكون حاصل جمع الانفعالات مساوياً للصفر. الفلين من ناحية أخرى ذو قيمة لمعامل بواسون مساوية للصفر ممّا يجعله مناسباً جداً كسدادات للزجاجات، لأنّ التحميل الطولي له لن يؤدي الى حدوث اي تقلص عرضي ومن ثمّ يبقى ساداً للزجاج [1, 2].

تكمن أهمية حساب نسبة معامل بواسون في التطبيقات الكثيرة المتعلقة بهذه النسبة فمثلاً عند ضغط الأنابيب بالغاز أو بالسائل سيؤدي ذلك الى ظهور قوى موزعة بانتظام في داخل الأنبوب. تؤدي هذه القوى الى ظهور اجهاد محيطي في مادة الأنبوب، ومن ثمّ حدوث زيادة في قطر الأنبوب. بسبب ظاهرة بواسون سيؤدي هذا الاجهاد الى ظهور تقلص في الطول، ممّا سيؤدي لحدوث تأثيرات مهمة كقوى على وصلات الأنابيب، وهذه التأثيرات يمكن أن تتراكب لكل مقطع، وتؤثر على وصلات الأنابيب [3].

انّ الطريقة المتبعة عادة لقياس معامل بواسون هو بتركيب مقياسيين للانفعال على عينة الشد المختبرة الأول طولي، والآخر عرضي، ومن نسبة هاتين القيمتين تحدّد هذه القيمة [3,4,5].

توجد انتقادات كثيرة على استخدام هذه الطريقة لقياس معامل بواسون للمواد البلاستيكية، ولاسيّما الطرية منها اذ يعتقد على نطاق واسع أنّ هذين المقياسيين المركبين على العينة يؤثران في نتيجة الاختبار، ومن ثمّ انّ قيمة هذا المعامل للمواد البلاستيكية ولاسيّما غير الصلبة مشكوك فيها كلّها .

اتجهت المحاولات كلّها لحل هذه المسألة بالاتجاه التقني اذ تركزت المحاولات كلّها على قياس الانتقال الطولي والعرضي عن بعد بواسطة الأشعة لكي لا تتأثر العينة بهذه المقاييس المركبة. في حين يمكن قياس الانفعال الطولي بسهولة الاّ أنّ قياس الانفعال العرضي بهذه الطريقة قد لاقى صعوبات كثيرة [6, 7, 8].

ظهرت محاولات كثيرة لقياس معامل بواسون بطريقة مختلفة عن طريقة القياس المباشر للانفعالين العرضي والطولي فمثلاً استخدمت طريقة أخرى لحساب معامل بواسون للمواد البلاستيكية الصلبة استناداً الى معامل يونغ ومعامل القص وفق العلاقة الآتية [9]:

$$\nu = \frac{E}{2G} - 1$$

أظهرت النتائج المنشورة باستخدام هذه العلاقة انّ قيم معامل بواسون المحددة وفق هذه الطريقة ذات قيم أعلى قليلاً من تلك المحددة بالقياس المباشر بواسطة مقياسي الانفعال الطولي والعرضي.

في الواقع لم تكن هناك محاولات جدية لتعيين هذا المعامل من الحالة الاجهادية الحجمية، لذلك تم التوجه الى محاولة

ايجاد هذه القيمة من الحالة الاجهادية الحجمية موضوع هذا البحث.

2- المبدأ النظري:

يعطى الانفعال الحجمي النسبي θ بالعلاقة:

$$\theta = \frac{\Delta V}{V} = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z \quad .....(1)$$

لتحويل الانفعالات الى اجهادات تستخدم قوانين هوك العامة:

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}[\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$
$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}[\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]$$
$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}[\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

وبالتعويض والاختصار ينتج:

$$\theta = \frac{1-2\nu}{E}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad .....(2)$$

اذ ν تمثل نسبة معامل بواسون.

σ_x: الاجهاد الناظمي في الإتجاه X.

σ_y: الاجهاد الناظمي في الإتجاهy.

σ_z: الاجهاد الناظمي في الإتجاهz.

في حالة الاجهاد الهيدروستاتيكي وعندما تكون الاجهادات متساوية في الاتجاهات كلّها يمكن كتابة: $\sigma_{av} = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$

.....(3)

اذ σ_{av}: هو الاجهاد الوسطي أو المتوسط

ومنه:

$$\theta = \frac{3(1-2\nu)}{E}\sigma_{av} \quad .....(4)$$

اذا رمز ب K للمقدار بين الاجهاد الوسطي، والانفعال الحجمي النسبي بالشكل:

$$K = \frac{E}{3(1-2\upsilon)} \quad .....(5)$$

اذ يسمى K بمعامل الانفعال الحجمي

ومن ثمَّ ينتج قانون هوك في حالة الإجهادات الحجمية (ثلاثية الأبعاد) بالشكل:

$$\sigma_{av} = K.\theta .....(6)$$

ينص هذا القانون على أنَّ الإجهاد المتوسط في نقطة ما يتناسب طرداً مع الانفعال الحجمي في هذه النقطة .[4,5]

3- العمل التجريبي:

3-1- استنتاج العلاقة بين القوة والانتقال عند وضع مادة بلاستيكية في اسطوانة مغلقة:

اذا وضعت مادة بلاستيكية ضمن أسطوانة مغلقة بحيث تكون الانفعالات على الجوانب مساوية للصفر ينتج انفعال شاقولي عن القوة الشاقولية المطبقة فيمكن كتابة القانون السابق للعلاقة 6 بالشكل:

$$\frac{F}{A} = K\frac{\Delta V}{V}$$
$$\frac{F}{A} = K\frac{\Delta V}{A.L}$$
$$F = K.A.\frac{A.\Delta L}{A.L}$$

$$F = C.\Delta L .....(7)$$

$$C = \frac{K.A}{L} .....(8)$$

يمثل الثابت C ميل المنحنى بين القوة المؤثرة والانتقال الناتج.

L: تمثل طول العينة البلاستيكية داخل الأسطوانة المغلقة.

A: تمثل مساحة العينة البلاستيكية داخل الأسطوانة المغلقة (فعلياً مساحة السطح الداخلي للأسطوانة).

V: الحجم الأولي للعينة البلاستيكية التي تمثل عملياً حجم الفراغ المحصورة فيه.

ومن ثمّ يمكن تحديد معامل بواسون عن طريق قياس القوة المؤثرة، والانتقال الناتج للعينة المضغوطة في الأسطوانة المغلقة.

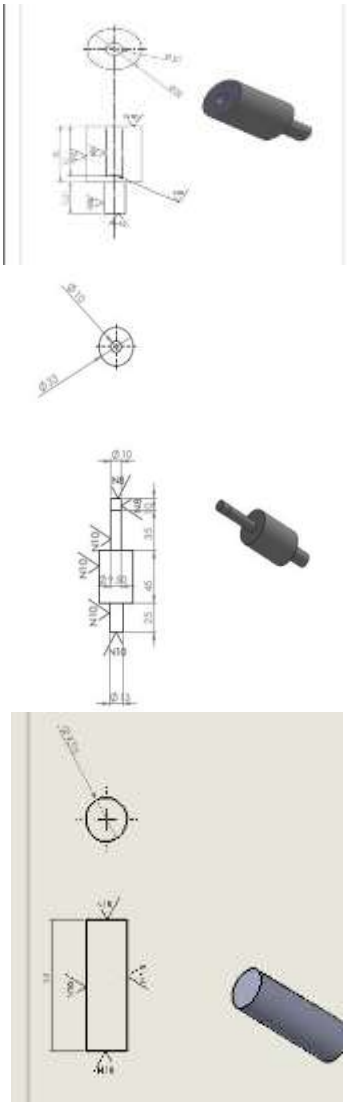
3- 2- مادة الاختبار:

اختيرت ثلاث مواد بلاستيكية صلبة نوعاً ما، وذلك لضمان أقل تأثير ممكن لمقاييس الانفعال العرضي والطولي المركبة على العينة في نتائج الاختبار، وذلك عند مقارنة النتائج بالنتائج الناتجة من طريقة الاختبار بالطريقة الكلاسيكية، وهذه المواد هي:

- بولي اتيلين عالي الكثافة HDPE يستخدم لنقل مياه الشرب مصنعة على شكل أنابيب من قبل مجموعة التقني للصناعات البلاستيكية في دمشق – سورية، والمادة الأولية المستخدمة في صناعة الأنابيب من نوع PE100 من صنع شركة بروج الإماراتية.
- بولي بروبلين راندوم PPR يستخدم لنقل المياه الساخنة والباردة مصنعة على شكل أنابيب من قبل شركة سعد بلاست للصناعات البلاستيكية والمادة الأولية صنع شركة بروج الاماراتية.
- بولي فينيل كلورايد PVC يستخدم لنقل مياه الصرف الصحي مصنع على شكل أنابيب من قبل شركة سعد بلاست للصناعات البلاستيكية والمادة الأولية صنع شركة LG الكورية.

3-3- تصميم أداة الاختبار:

صمّمت أبعاد أجزاء الأداة والعينة البلاستيكية على برنامج الرسم الصناعي Solidwork (السوليدوورك)، كما هو مبيّن في الشكل(1).



الشكل(1) أبعاد السالبة والموجبة وأبعاد العينة البلاستيكية

3-4- تشغيل الأداة والعينات:

شغّلت الأداة بجزأيها الموجبة والسالبة على المخرطة المبرمجة للحصول على الشكل النهائي للأداة، كما شغّلت وحضّرت خمس عينات من كل مادة من المواد الثلاث

المستخدمة في البحث لعينات الانضغاط الحجمي بواسطة المخرطة العادية، وباستخدام سرعة قطع منخفضة جداً لكي لاتتاثر العينة بعملية الخراطة والحصول على العينات البلاستيكية التي ستوضع داخل الأداة، كما هو مبيّن في الأشكال (2، 3، 4، 5).

الشكل (2) تشغيل العينة البلاستيكية على المخرطة

الشكل (3) العينات البلاستيكية بعد تشغيلها على المخرطة

الشكل (4) تشغيل موجبة الأداة عل المخرطة المبرمجة

الشكل (5) يظهر الموجبة والسالبة بعد التشغيل على المخرطة المبرمجة

شغّلت وحضّرت خمس عينات شد من كل مادة من المواد الثلاث المستخدمة في البحث على الفارزة المبرمجة المخصصة لصنع عينات شد المواد البلاستيكية صنع شركة Ipt الألمانية للحصول على معامل يونغ للمواد المختبرة وفق المواصفة ISO6259/1/3, type 1 [10]، كما هو مبيّن في الشكل (6).

الشكل (6) تشغيل عينات الشد على الفارزة المبرمجة

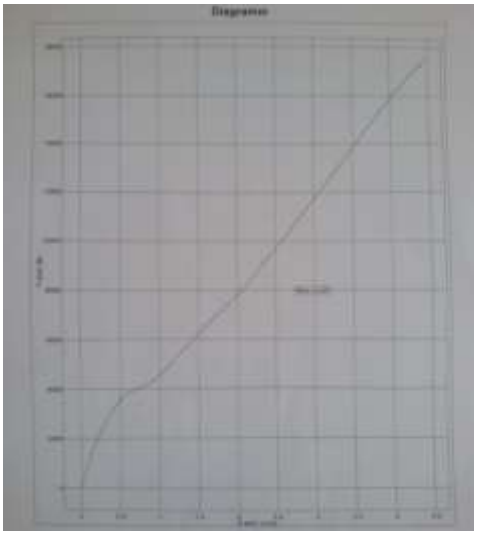
3-5- إجراء تجربة الضغط الثلاثي المحاور باستخدام الأداة على آلة الشد:

وضعت الأداة والعينات المراد اختبارها وعينات الشد في فرن ذي تهوية قسرية صنع شركة Lenton الانكليزية بدرجة حرارة الاختبار، أي 23 درجة مئوية وزمن ابقاء مدة 5 ساعات لضمان التجانس الحراري ومن ثم نفّذ الاختبار على آلة الشد مباشرة. نفّذ اختبار الضغط ثلاثي الأبعاد على آلة الشد موديل 114 صنع شركة Test الألمانية المخصصة لاختبارات المواد البلاستيكية، وثبّتت أجزاء

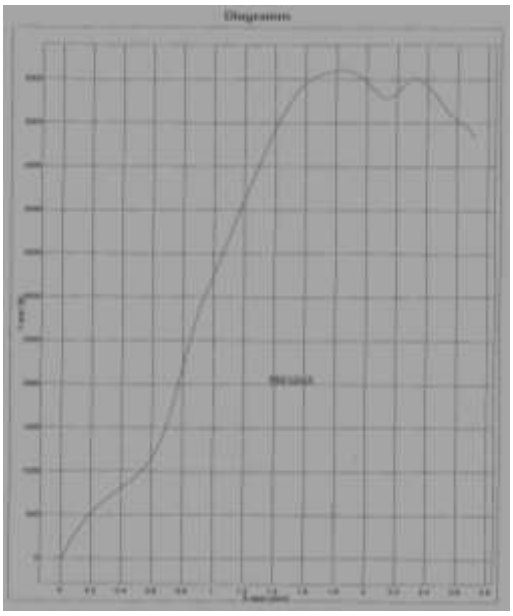
الأداة بشكل جيد على الآلة، ومن وضعت العينة البلاستيكية داخل سالبة الأداة كما هو مبيّن في الشكل (7).

الشكل (7) تثبيت الأداة على آلة الشد عند تطبيق الاختبار

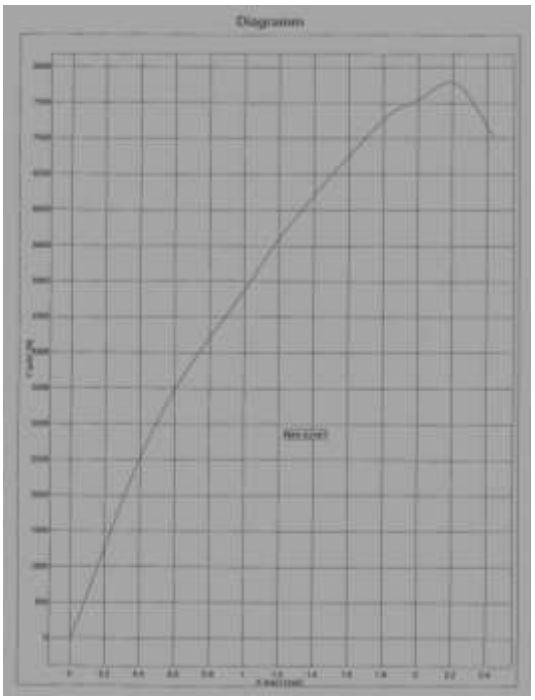
أجري الاختبار وضغط العينات بسرعة ضغط 5mm/min والحصول على المنحنيات القوة – الانتقال المبيّنة في الأشكال (8 – 9 – 10).



الشكل (8) نموذج عن المخطط الناتج بعد ضغط العينة البلاستيكية داخل الأداة لمادة البولي أتيلين عالي الكثافة، اذ يمثل المحور x الانتقال الناتج في آلة الشد مقدراً بالمم والمحور y القوة المطبقة مقدرة بالنيوتن



الشكل (9) نموذج عن المخطط الناتج بعد ضغط العينة البلاستيكية داخل الأداة لمادة البولي بروبلين راندوم، اذ يمثل المحور x الانتقال الناتج في آلة الشد مقدراً بالمم والمحور y القوة المطبقة مقدرة بالنيوتن



الشكل (10) نموذج عن المخطط الناتج بعد ضغط العينة البلاستيكية داخل الأداة لمادة البولي فينيل كلورايد، اذ يمثل المحور x الانتقال الناتج في آلة الشد مقدراً بالمم والمحور y القوة المطبقة مقدرة بالنيوتن

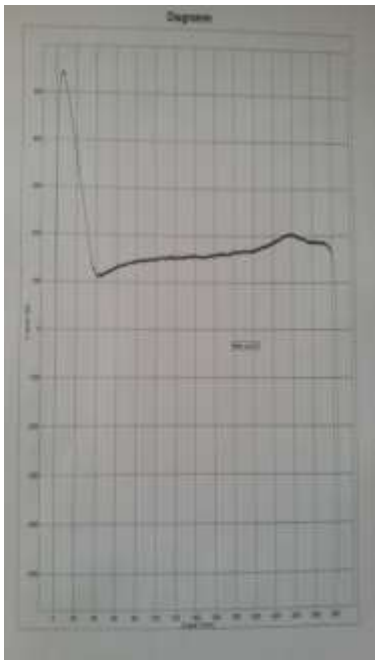
يلاحظ أنّ هذه المنحنيات تتألف من جزأين، يمثل الجزء الأول الجزء الذي ستقوم به العينة بملء كامل الفراغ الصغير جداً بينها وبين الأداة، حتى يمتلئ الفراغ كلّه بمادة العينة المختبرة. في حين يمثل الجزء الثاني الخطي انضغاط العينة وفق قانون هوك الحجمي ضمن المجال المرن.

من الجزء الخطي من المخططات الناتجة يمكن حساب الميل الذي يمثل قيمة الثابت(c) في المعادلة رقم(8).

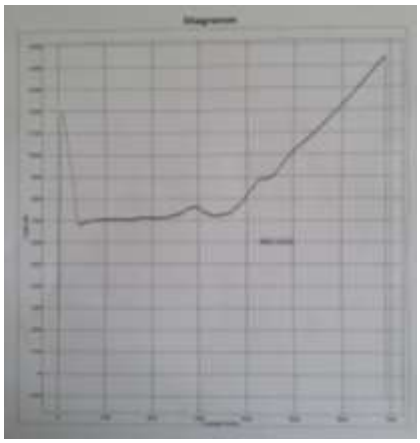
3-6-اجراء تجربة الشد، وتحديد معامل يونغ للمادة البلاستيكية المستخدمة:

شدّت عينات الشد على آلة الشد Test كما هو مبيّن في الشكل (11)، وحسب معامل يونغ من مخطط الشد الناتج لخمس عينات متماثلة لكل مادة، كما هو مبيّن في الأشكال (12-13-14). سرعة الشد 5mm/min.

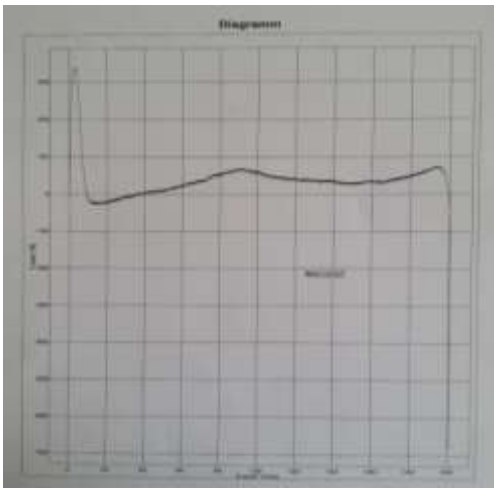
الشكل (11) آلية إجراء اختبار الشد



الشكل (12) نموذج عن أحد مخططات الشد الناتجة لمادة البولي اتيلين عالي الكثافة، اذ يمثل المحور x الانتقال الناتج في آلة الشد مقدراً بالمم والمحور y القوة المطبقة مقدرة بالنيوتن



الشكل (13) نموذج عن أحد مخططات الشد الناتجة لمادة البولي بروبلين راندوم، حيث اذ المحور x الانتقال الناتج في آلة الشد مقدراً بالمم والمحور y القوة المطبقة مقدرة بالنيوتن

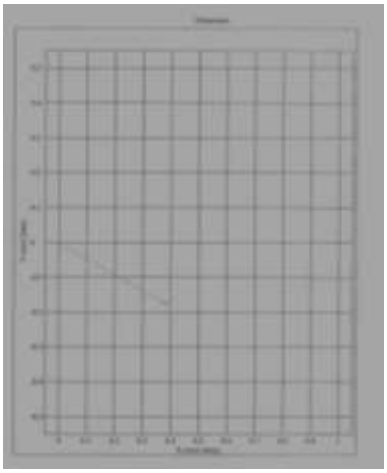


الشكل (14) نموذج عن أحد مخططات الشد الناتجة لمادة البولي فينيل كلورايد، اذ يمثل المحور x الانتقال الناتج في آلة الشد مقدراً بالمم والمحور y القوة المطبقة مقدرة بالنيوتن

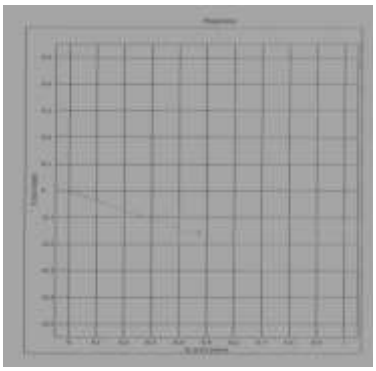
3-7-اجراء تجربة تحديد معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية:

بهدف مقارنة النتائج الناتجة أجريت تجربة لتحديد معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية على آلة الشد Test كما هو مبيّن في الشكل (15)، وذلك باستخدام مقياس الانفعال الطولي، ومقياس الانفعال العرضي لخمسة عينات متماثلة لكل مادة مختبرة كما هو مبيّن في الأشكال (16-17-18). سرعة الشد 5mm/min..

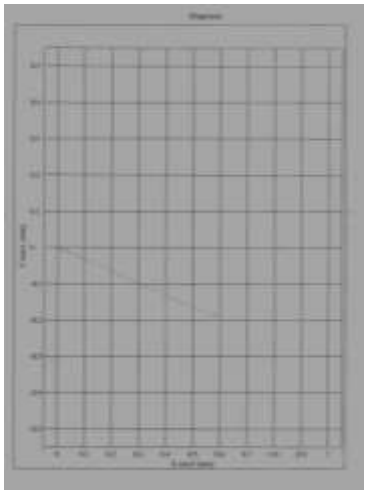
الشكل (15) آلية تحديد معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية باستخدام مقياسين للانفعال الطولي والعرضي



الشكل (16) نموذج عن أحد المخططات الناتجة عن تعيين معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية باستخدام مقياسين للانفعال الطولي والعرضي لمادة البولي اتيلين عالي الكثافة، يمثل المحور x الانتقال الناتج عن الانفعال العرضي مقدراً بالمم، والمحور y الانتقال الناتج عن الانفعال الطولي مقدراً بالمم



الشكل (17) نموذج عن أحد المخططات الناتجة عن تعيين معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية باستخدام مقياسين للانفعال الطولي والعرضي لمادة البولي بروبلين راندوم، يمثل المحور x الانتقال الناتج عن الانفعال العرضي مقدراً بالمم والمحور y الانتقال الناتج عن الانفعال الطولي مقدرا بالمم



الشكل (18) نموذج عن أحد المخططات الناتجة عن تعيين معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية باستخدام مقياسين للانفعال الطولي والعرضي لمادة البولي فينيل كلورايد راندوم، يمثل المحور x الانتقال الناتج عن الانفعال العرضي مقدراً بالمم، والمحور y الانتقال الناتج عن الانفعال الطولي مقدرا بالمم

4- النتائج والمناقشة:

4-1- النتائج:

4-1-1- نتائج معامل يونغ:

نتائج معامل يونغ موضّحة في الجدول رقم /1/.

الجدول (1) نتائج معامل يونغ

PVC	PPR	HDPE	معامل يونغ
589.40	619.80	199.99	Mpa
595.10	602.10	200.21	
600.20	599.60	198.86	
570.30	620.10	202.12	
566.00	647.90	197.27	
584.20	617.90	199.69	المتوسط الحسابي

4-1-2- نتائج معامل بواسون بالطريقة الحجمية:

نتائج ميل المنحنى C للمواد الثلاث موضّحة في الجدول رقم (2).

الجدول (2) نتائج ميل المنحنى C بالطريقة الحجمية

PVC	PPR	HDPE	ميل المنحنىC
3506	4128	4000	N/mm
3550	4022	4065	
3485	4012	3991	
3523	4210	4025	
3436	4253	4009	
3500	4125	4018	المتوسط الحسابي

باستخدام متوسط الميل C للمواد الثلاث ومن ثم التعويض في المعادلة (8) نقوم بحساب K ومن ثم بتعويض قيمة K في المعادلة (3) مع التعويض بقيم متوسط معامل المرونة E ،نتنتج قيم معامل بواسون بالطريقة الحجمية. انّ قيم معامل بواسون المحسوبة بالحالة الاجهادية الحجمية موضّحة في الجدول رقم /3/.

الجدول (3) نتائج بواسون بالطريقة الحجمية

معامل بواسون	HDPE	PPR	PVC
υ	0.478	0.430	0.422

4-1-3- نتائج معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية:

نتائج قيم معامل بواسون بالاختبار بالطريقة الكلاسيكية موضّحة في الجدول رقم /4/.

الجدول (4) نتائج معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية

	HDPE	PPR	PVC
معامل بواسون υ	0.465	0.421	0.410
	0.470	0.420	0.409
	0.467	0.424	0.420
	0.466	0.423	0.411
	0.477	0.422	0.425
المتوسط الحسابي	0.469	0.422	0.415

4-2- المناقشة:

استنبطت طريقة جديدة لتعيين معامل بواسون انطلاقاً من قانون هوك الحجمي، واستنبطت علاقات تمكننا من تحديد هذا المعامل تجريبيا دون الحاجة لتعيين معامل القص أو استخدام مقاييس الانفعال الطولية والعرضية وفق الطريقة الكلاسيكية، وتطابقت النتائج مع النتائج المنشورة في المرجع [9]، وأظهرت كذلك أنّ القيم الناتجة لمعامل بواسون وفق هذه الطريقة قريبة من قيم معامل بواسون المستخرجة بالطريقة الكلاسيكية، ولكن أعلى قليلاً ممّا يؤكد تأثير هذين المقياسين في النتائج للمواد البلاستيكية، ويدعم الشكوك في القيم المستخرجة وفق الطريقة الكلاسيكية. بيّنت النتائج أيضاً امكانية قياس معامل بواسون بطريقة بسيطة، وذات صدقية أكبر من الطريقة الكلاسيكية. انّ الطريقة الكلاسيكية المأخوذة من اختبارات المعادن غير مناسبة للمواد البلاستيكية بسبب تاثير مقاييس الانفعال الطولي والعرضي في النتائج.

5- الاستنتاجات:

1- نلاحظ أنّ قيم معامل بواسون المحددة وفق الحالة الاجهادية الحجمية ذات قيم أعلى قليلاً من تلك المحددة وفق الطريقة الكلاسيكية، وهذا يتوافق مع ما نشر لقيم معامل بواسون المحددة وفق العلاقة المستخدمة في المرجع [9].

2- توجد امكانية لقياس معامل بواسون بطريقة الحالة الاجهادية الحجمية، وهي طريقة بسيطة ومناسبة وذات صدقية اكبر من الطريقة الكلاسيكية للمواد البلاستيكية الطرية.

3- يلاحظ وجود تقارب كبير بين قيم معامل بواسون الناتجة من الاختبار بالطريقة الكلاسيكية باستخدام مقياسيين لقياس الانفعال الطولي والعرضي مع النتائج الناتجة عن قياس قيمة هذا المعامل بالاختبار بالحالة الإجهادية الحجمية.

4- انّ طريقة تعيين معامل بواسون بالطريقة الكلاسيكية مناسبة للمعادن اذ تعطي قيماً دقيقة ومباشرة، ولكن قيم معامل بواسون المحسوبة وفق الطريقة الكلاسيكية تعطي قيماً مشكوكاً بمدى دقتها، لأنّ تاثير هذين المقياسين في العينة المختبرة واضح وجلي، وخاصة عند اختبار مواد بلاستيكية طرية نوعاً ما.

5- إن طريقة قياس معامل بواسون بالاختبار بالحالة الإجهادية الحجمية هي ممكنة الاستخدام في حال عدم توافر مقاييس الانفعال العرضي والطولي.

6- تتميز طريقة تعيين معامل بواسون بالطريقة الحجمية مقارنة بالطريقة المقترحة بواسطة العلاقة المستخدمة في المرجع [9] بأنّه لاتوجد حاجة لتحديد معامل القص G. انّ تحديد معامل القص G عملية بحاجة لتجهيزات مستقلة ليست دوماً متوافرة في المخابر، وصعبة في كثير من الحالات.

7- انّ العلاقات 7 و 8 المستنتجة انطلاقا من العلاقة 6 وتطبيقها تعطينا نتائج موثوقاً بها ومماثلة لما هو منشور في المرجع [9]، ومن ثمّ يمكن اعتمادها.

REFERENCES

1- **On Poisson's Ratio in Linearly Viscoelastic Solids. R.S.Lakes, A.Wineman, J Elasticity (2006) 85: 45-63.**
2- **Greaves, G. N., Greer, A. L., Lakes, R. S., and Rouxel, T., "Poisson's Ratio and Modern Materials", Nature Materials, 10, 823-837 Nov. (2011).**
3- **Lakes, R.S.: Viscoelastic Solids. CRC, Boca Raton, Florida (1998)**
4- **Weiner, J.H.: Statistical Mechanics of Elasticity. Wiley, New York (1983)**
5- **Boresi, A.P, Schmidt, R. J. and Sidebottom, O. M, 1993, Advanced Mechanics of Materials, Wiley**
6- **Lekhnitskii, SG., Theory of elasticity of an anisotropic elastic body, Holden-Day Inc, (1963).**
7- **MECHANICS AND FAILURE OF PLASTICS, Prof. RNDr Josef Jancar, CSc, VYSOKE, VCENI, TECHNICKE, V BRNE, Brno 2005.**
8- **Principls of Polymer Engineering, N. G, McCRUM, C. P. Buckley (Department of Engineering Science, University of Oxford) and C. B. Bucknall, School of Industrial Science, Cranfield institute of Technology, Oxford, Oxford University Press, 1992.**
9- **Polymer Engineering Principles, Properties and Tests for Design, by Richard C. Progelhof and James L. Throne, Hanser/Gardner Publications, Inc., Cincinnati, 2012. P 549**
10- **ISO 6259-1/3 "Determination of Tensile Stress"**

Received	**2018/06/21**	**إيداع البحث**
Accepted for Publ.	**2018/09/05**	**قبول البحث للنشر**