دراسة إمكانيَّة إنتاج أقمشة تريكو عرضيَّة ذات مواصفات أوكسيتيك

طالب الدراسات العليا: إيمان محمد زينة

كلية: الهندسة الكيميائية والبترولية – جامعة: البعث

الدكتورة المشرفة: وديان عباس + د. مصطفى الرشيد الأحمد

ملخص البحث:

تُعتَبر تقنيَّة الحياكة العرضيَّة المسطَّحة من التقنيَّات الحديثة والمتوافرة لاستخدامها في إنتاج أقمشة التريكو القابلة للطيّ والتي تمتلك مواصفاتٍ خاصَّةٍ مثل خاصِّيَّة الأوكسيتيك وذلك باستخدام الخيوط التقليديَّة المتوفرة في الأسواق المحليَّة وباستخدام آلة الحياكة المسطَّحة المؤتمتة. تعتمد هذه التراكيب على إنشاء أشكالٍ هندسيَّةٍ محدَّدةٍ على سطح القماش مستوحاةٍ من فنِّ الأوريغامي الياباني (فنّ طيّ الورق) والتي تسمى بالهندسة الأوكسيتيك. تعطي هذه الأشكال الهندسيَّة القماش مواصفاتٍ جديدةٍ وبارامتراتٍ هندسيَّةٍ تختلف عن أقمشة التريكو العرضيَّة العاديَّة، حيث تعتمد هذه الخواصّ على طريقة ترتيب القطب ضمن بنيَّة الحياكة لقماش التريكو.

تمَّ إنتاج عيِّنات البحث باستخدام آلة الحياكة المسطّحة المؤتمتة Shima Seiki وباستخدام برنامج التصميم (SDS–One) وبنوعين مختلفين من القطب لإنتاج عيِّنات ذات تركيب هندسي زيك– زاك بزوايا هندسيّة مختلفة وبخامات متنوعة بالإضافة إلى تغيير عدد القطب الداخلة في تشكيل كل تركيب. أظهرت النتائج أن جميع العيِّنات أبدَّت معدَّل بواسون سالباً وتحمل الخواصَّ الأوكسيتيك المطلوبة والتي تختلف باختلاف زاوية التركيب ونوع الخيط المستخدم وعدد القطب في التركيب.

الكلمات المفتاحيَّة: الحياكة المسطَّحة، الخواصّ الأوكسيتيك، تركيب الحياكة، زاوية التركيب، معدَّل بواسون السالب NPR.

Study of the Possibility of Producing Auxetic Weft Knitting Fabrics

Dr: Wedian Abbas ,Dr: Mostafa Al Ahmad

Eng : Emaan Zaina

Abstract:

In this paper, we present the technique used to produce many foldable flat weft knitting structures with auxetic properties using traditional yarns available in the local markets, and an automated flat knitting machine.

These structures depend on creating specific geometric shapes on the surface of the fabric which is called auxetic geometry, inspired by origami (the Japanese art of paper folding).

The geometric shapes give the fabric new specifications and geometric parameters that differ from traditional weft knitting fabrics, as these properties depend on the method of arranging the stitches within the structure of the knitted fabric.

The research samples were produced using the Shima Seiki automated flat knitting machine with the design software (SDS-ONE) and with two different kinds of stitches to produce samples with Geometric Zig-Zak structures with different geometric angles and several materials as well as changing the number of stitches involved in forming each structure.

The results showed that all samples had a negative Poisson's rate and the required auxetic properties, which differ according to the structure angle, the type of yarn materials, and the number of stitches in the structure.

Key Words:

Flat Knitting, Auxetic properties, Knitting Structure, Structure Angle, Negative Poisson's Ratio NPR.

1- مقدِّمة:

أصبحت الأقمشة في الوقت الحاليّ ذات مجال استخدامٍ واسعٍ جداً ليس فقط في الملابس والعمارة الداخليَّة، بل امتد استخدامها إلى مجالات صنَّاعيَّة وتقنيَّة مختلفة ويعود ذلك بشكلٍ أساسيٍ إلى التطور المتسارع غير المحدود في قطاعات الغزل والنسيج "وخاصَّة الحياكة", إضافةً لدمجها في قطاعاتٍ هندسيةٍ وصنَّاعيَّةٍ مختلفةٍ. وذلك بسبب المزايا الكثيرة التي تقدمها الأقمشة بشكلٍ عامٍ وأقمشة الحياكة التقنيَّة بشكلٍ خاصٍ والتي تتميز بها عن غيرها من المواد، مثل الخواصّ الميكانيكيَّة وقابليَّة التحكم والضبط، سهولة التعامل مع الأقمشة، المرونة العالية، المتانة، وخصائص أخرى.[1] وتُعَّد أقمشة التريكو ذات السلوك الأوكسيتيك فئةً مناسبةً من المواد المستخدمة في هذه التطبيقات. [2]

حيثُ تُعرَّف الأقمشة ذات السلوك الأوكسيتيك بأنها الأقمشة التي تظهر معدَّل بواسون سالباً (NPR)، حيث تبدي هذه الأقمشة سلوكاً ميكانيكيَّاً مختلفاً عن باقي الأقمشة ذات معدَّل بواسون الموجب فعند تعرضها لقوى شدٍّ محوريٍ من أحد المحاور فإنها تتوسع وتزداد أبعادها بالاتجاه الآخر أي بشكلٍ معاكسٍ لسلوك باقي الأقمشة. ويُعّد التأثير الأوكسيتيك مسؤولاً عن إعطاء الأقمشة خصائصاً مضافةً ترفع من الأداء الوظيفيّ لها ومن أهم هذه الخصائص (مقاومة القطع، امتصاص الطاقة، امتصاص وعزل الصَّوت). [3]

1-1: الحياكة المسطَّحة:

تُعَّد تقنيَّة الحياكة المسطَّحة إحدى التقنيَّات الأساسيَّة في إنتاج أقمشة التريكو التي تُعتَبر من أهم أنواع المنسوجات المعروفة منذ زمنٍ، فهي ذات جذورٍ تمتد لعشرات السنين وحتى وقتنا الحاليّ. ويمكن تعريفها بأنها تكنولوجيا تصنيع القماش على أساس استخدام خيطٍ واحدٍ لتغذية جميع الإبر العاملة على الآلة، وحيث تعود تسمية هذا النوع من الحياكة إلى شكل الآلة بالإضافة إلى طريقتها في إنتاج الأقمشة بالمقارنة مع آلات الحياكة السدائيَّة والدائريَّة. [3]

وقد انتَشر هذا النوع من الأقمشة وتراكيبها النسيجيَّة في العصر الحديث انتشاراً سريعاً في صناعة أقمشة الملابس، كما امتد إلى الأقمشة المستخدمة في التنجيد والمفروشات والأقمشة التقنيَّة والصنَّاعيَّة. وذلك بعد دخول التقنيَّات والبرمجيَّات الحديثة التي نقلت هذه الصناعة نقلةً نوعيَّةً وحَسَّنت مواصفاتها ومزاياها.

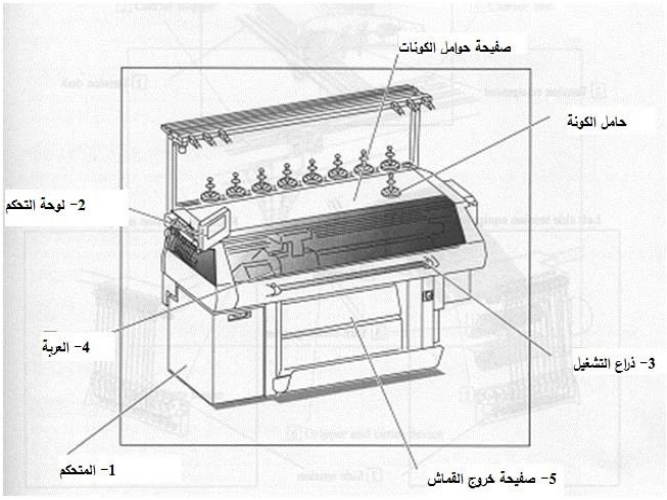
تتميز الحياكة المسطَّحة بخصائصٍ محدَّدة تجعلها مميزةً وملائمةً للاستخدام في المجالات الصحِّيَّة وغيرها من مجالات الاستخدام. من هذه الخصائص: بنى الحياكة، الامتطاطيَّة، نفوذيَّة الهواء، مقاومة التجعّد والانكماش، امتصاص الرطوبة وسهولة الاستعمال وعدم الحاجة للكيّ. [2] بالإضافة إلى ميَّزات أخرى لآلات الحياكة المسطَّحة المؤتمتة نذكر منها:

- رخص ثمنها بالمقارنة مع غيرها من الآلات بالإضافة إلى إنتاجيَّتها العالية.
- قلة العوادم الناتجة عنها بالمقارنة مع طرق أخرى لإنتاج الأقمشة.
- لا تحتاج عدداً كبيراً من اليد العاملة ولا تحتاج إلى عمليات تحضير قبل الإنتاج.
- صغر المساحة اللازمة لتوضع الآلات.
- آلات الحياكة المسطَّحة الحديثة مؤتمتةٌ ومتوافقةٌ بالعمل مع برامج تصميمٍ خاصَّةٍ بها ذات ميَّزاتٍ تُسهل من عملية التصميم والتُعَّديل عليها.

وسنستعرض فيما يلي نموذج لأجزاء إحدى آلات الحياكة المسطحة.

أجزاء آلة الحياكة المسطَّحة:

1- المتحكم (controller) 2- شاشة العمل (operation panel) 3- ذراع الإيقاف (operation bar) 4- العربة (carriage) 5- صفيحة خروج القماش (مع جهاز شدّ (fabric off plate). [2]



الشكل (1) أجزاء آلة الحياكة المسطَّحة

وتمتلك آلات الحياكة المسطَّحة الحديثة مجموعة من الخيارات والميَّزات التي يمكن استخدامها لتصنيع الأقمشة ذات المواصَّفات الخاصَّة ومنها:

- إمكانيَّة اختيار الإبر بشكلٍ فرديٍّ.
- إمكانيَّة نقل القطب بما في ذلك تقنيَّات الربط.
- تحمُّل الإجهاد وإمكانيَّة تبديل الألوان.
- حياكة أنواعٍ مختلفةٍ من القطب في نفس دورة الحياكة، مثل قطب الطلعة الكاملة، قطب النصف طلعة وقطب اللغي.
- تعديلٌ سهلٌ لبارامترات الحياكة أثناء عمليَّة الحياكة، مثل طول القطبة، شدِّ الخيط، شدِّ القماش، تغيير حامل الخيط وسرعة الماكينة.

يعمل هذا النوع من الآلات بتوافق مع برامج تصميم حياكة خاصة به، فمثلاً آلة الحياكة Stoll تعمل مع برنامج تصميم الحياكة M–One، أما آلة الحياكة المستخدمة في بحثنا Seiki Shima فإنها تستخدم برنامج الحياكة SDS–One.

❖ **برنامجSDS–One:**

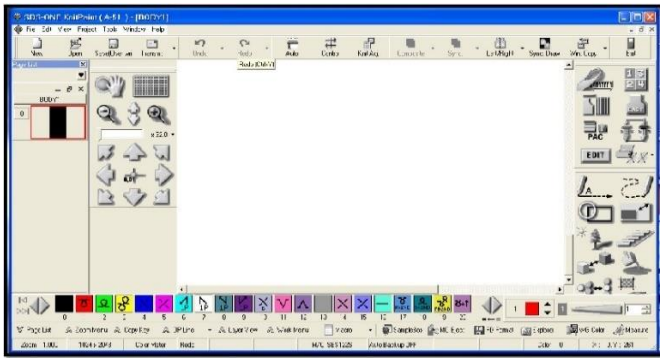
يسمح هذا البرنامج بإنتاج التصميم بالمقاس المحدد ويمكن توظيفه مباشرةً على برنامج التصميم التنفيذيّ دون الحاجة لتعديل المقاسات مرةً أخرى (Rescaling) .كما يسمح بتعديل التصميم وإعادة تلوينه و تخزينه للتعامل معه بصورةٍ متعددةٍ و هذا البرنامج يسمح بإدخال النماذج pattern والأشكال shapes وتجميعها وتعديل مقاساتها وتحريكها وكل أنواع المناورة التي يحتاجها المصمم وهذه الإمكانات باتت تسمح للمصمم بالتفرغ الكامل للعمليَّة الابتكاريَّة. [16] ولبرنامج SDS–Oneعدَّة وظائفٍ هي:

1- التصميم Design.

2- المحاكاة Simulation.

3- البرمجة للعمليَّات الإنتاجيَّة Programming.

4- إنتاج صورةٍ مطبوعةٍ للتصميم تضاهي المنتج بحيث أصبحت أقرب ما يكون إلى صورةٍ الفوتوغرافيَّةٍ للمنتج.



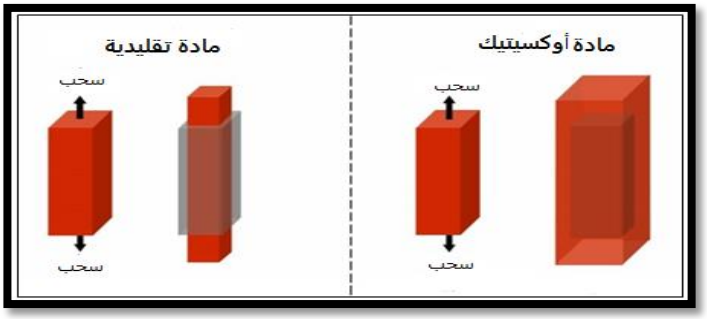
الشكل (2) واجهة برنامج الحياكة SDS-ONE

1-2: أقمشة الأوكسيتيك:

قبل التَّعريف بأقمشة الأوكسيتيك لابدَّ لنا من التَّعريف بمفهوم المواد الأوكسيتيك.

❖ ما هي المواد الأوكسيتيك؟

معظم المواد في الطبيعة لها سلوكٌ محددٌ عند تطبيق قوى الشدِّ باتجاهٍ معينٍ عليها ضمن حدود المرونة، أما بالنسبة للمواد التي تحمل خواصاً أوكسيتيك(غريبة السلوك)فإنها تُظهر سلوكاً مختلفاً تماماً وهذا المصطلح Auxetic مشتقٌ من كلمةٍ يونانيةٍ "AUXETIKOS" يدل على كل "ما يميل إلى الزيادة"، حيث أن المواد ذات السلوك الأوكسيتيك تتمدد عرضيَّاً بدلاً من التقلُّص في حال الشدِّ المحوريِّ الشاقوليِّ لها كما أنها تتضيق عرضيَّاً في حال الضغط الشاقوليّ لها والعكس بالعكس ، أي تُظهر معدَّل بواسون معاكساً بالإشارة للمواد الطبيعيَّة الأخرى والعالم إيفانز هو أول من أطلق عليها هذه التسمية[3]



الشكل (3) مقارنة بين المواد الأوكسيتيك والمواد التقليديَّة.

يعود هذا السلوك إلى البنيَّة الداخليَّة لهذه المواد التي تتكون من أشكالٍ هندسيّةٍ محدَّدةٍ ومفاصل وزوايا، وبحسب الأبحاث الحديثة، فإن هذا السلوك عادةً ما ينتج عن تأثيرٍ مشتركٍ بين البنيَّة الداخليَّة للمادة (الهندسة الداخليَّة) وآلية التشوه التي تخضع لها عندما يتم تطبيق الشدِّ عليها.

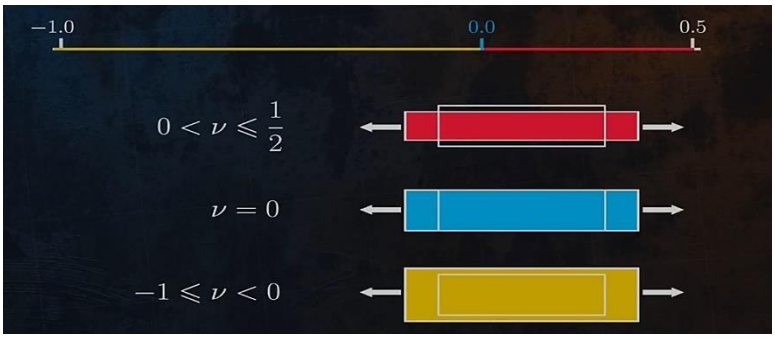
لفهم السلوك الأوكسيتيك للمواد يجب في البداية تعريف معدَّل بواسون:

معدَّل بواسون: هو ثابت مرونةٍ خاليٍ من الواحدات يُعبِر عن تغير أبعاد المادة في الاتجاه الجانبيّ نتيجة تطبيق قوةٍ عليها في اتجاه تطبيق الحمل. وبالتالي فإن معدَّل بواسون هو النسبة السالبة بين الإجهاد الجانبيّ (العرضيّ) للمادة إلى الإجهاد الطوليّ. [4]

:POSSION´S RATIO

$$V = -\frac{\varepsilon_t}{\varepsilon_a} = -\frac{\text{الإجهاد العرضي}}{\text{الإجهاد الطولي}}$$

وتعود إشارة الناقص في قانون معدَّل بواسون لأن التغير العرضي للمادة يكون بالاتجاه المعاكس. في حين أن معظم المواد في الطبيعة لها معدَّل بواسون موجب بين (0) و(0.5). فالمواد الأوكسيتيك هي ذات معدَّل بواسون سالب بين (0 و −1). والمادة التي لها معدَّل بواسون 0 فقط تسمَّى المادة الثابتة مثل الفلين(Cork) . [6]

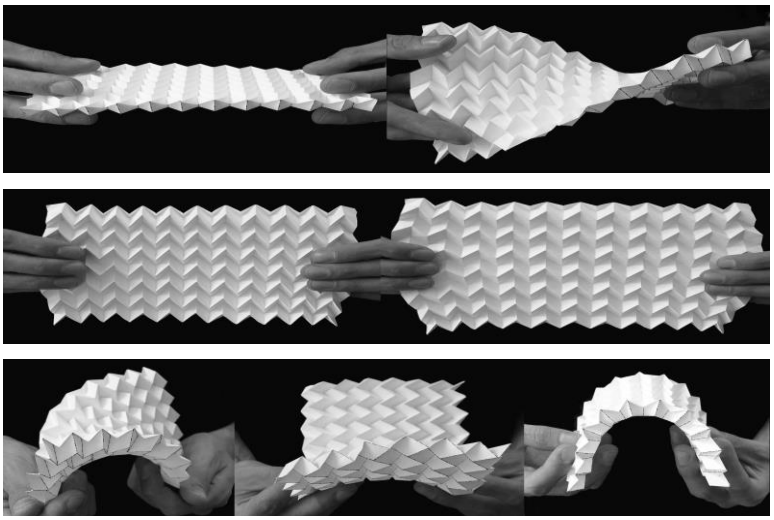


الشكل (4) سلوك المواد تحت الشدِّ المحوريِّ بحسب معدَّل بواسون

❖ **أقمشة الأوكسيتيك:** هي الأقمشة التي تُظهر معدَّل بواسون سالباً، حيث تُبدي هذه الأقمشة سلوكاً ميكانيكيَّاً مختلفاً عن باقي الأقمشة ذات معدَّل بواسون الموجب فعند تعرضها لقوى شدٍّ من أحد المحاور تتوسع بالاتجاه الآخر أي بشكلٍ معاكسٍ لسلوك باقي الأقمشة. [6]

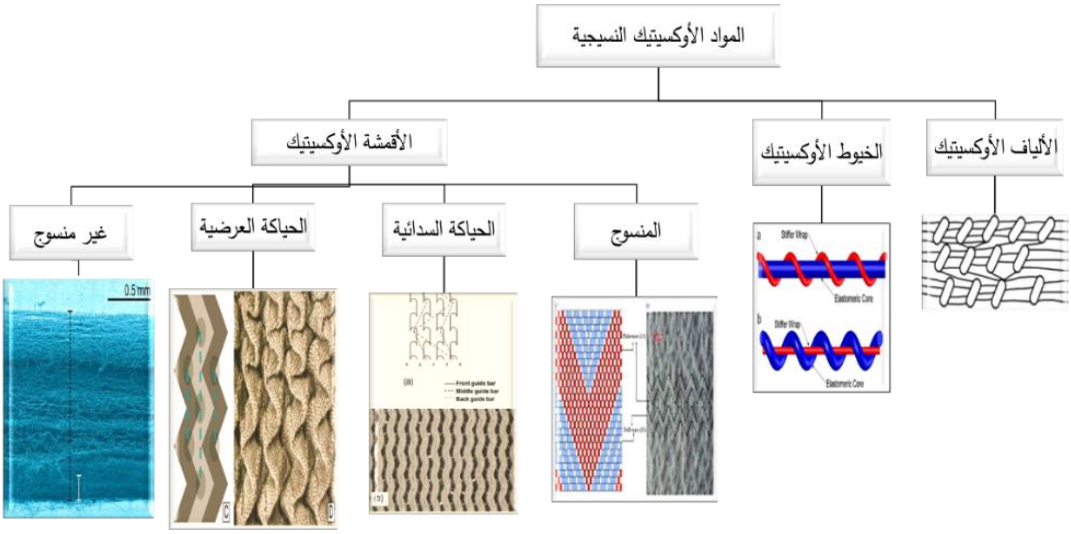
وقد استُوحي هذه النوع من التراكيب الهندسيَّة المستخدمة في أقمشة الأوكسيتيك من بعض المواد الموجودة في الطبيعة كجلد القط، ثدي البقر، الأنسجة العضليَّة والعظميَّة البشريَّة، بعض المعادن الطبيعيَّة كحديد البيريت وبشكلٍ أساسيٍّ من فنّ الأوريغامي الياباني الذي يعتمد على طيِّ الورق للحصول على أشكالٍ زخرفيَّةٍ.

الاستخدام الحديث لكلمة «أوريغامي» كمصطلحٍ شاملٍ لجميع أعمال الطيّ بغض النظر عن المادة المستخدمة، الهدف منها هو تحويل المادة المسطَّحة المستوية إلى الشكل النهائيّ المطويّ من خلال تقنيَّات النَّحت والطيّ. فالعلوم والتكنولوجيا المرتبطة بالهندسة المستوحاة من الأوريغامي جديدةٌ وتتطور بسرعةٍ. ولقد تطورت من المتطلبات الجماليَّة إلى تصميم تراكيب قابلة للطيّ لها خصائصٌ ميكانيكيةٌ مطلوبةٌ في المجال الصناعيِّ، وقد أدَّى ذلك إلى تطبيقاتٍ كثيرةٍ جداً ويُعَّد فهم هذه التصميمات وسلوكها هو الباب الأساسيّ والأهم لفهم سلوك أقمشة الأوكسيتيك القابلة للطيّ. وتُستخدم مبادئ الأوريغامي أيضاً في التعبئة والتغليف وبعض التطبيقات الهندسيَّة الأخرى وأيضاً في الفضاء حيث تستخدمها وكالة ناسا الأمريكيَّة في صنع المركبات الفضائيَّة. [7]



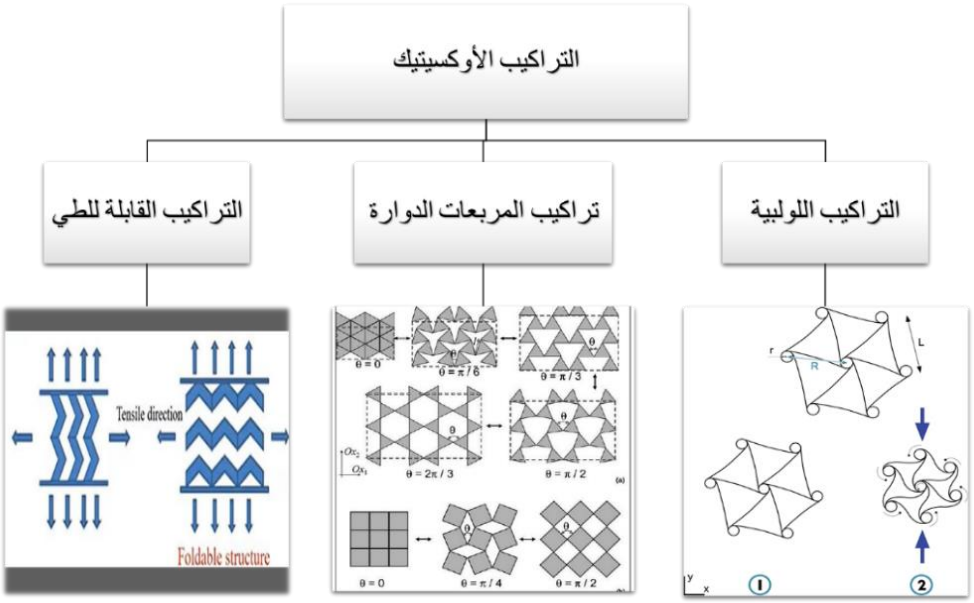
الشكل (5) السلوك الميكانيكيّ لورقة ميورا المستوحاة من هندسة الأوريغامي

وفي محاولةٍ لتقليد التراكيب المورفولوجيَّة الموجودة في الطبيعة من جهةٍ، والتراكيب الهندسيَّة المستوحاة من تقنيَّات هندسة الأوريغامي من جهةٍ أخرى، تم تصميم التراكيب الأوكسيتيك القابلة للطيّ لأغراضٍ متنوعةٍ. حيث تمَّ استخدام تقنيَّات الغزل والنسيج المختلفة لإنتاج أقمشة الأوكسيتيك، سواء كانت تقنيَّة الحياكة أو النسيج أو غير المنسوج، ولكن تقنيَّة الحياكة كانت الأكثر ملائمةً لهذا الغرض بسبب مرونتها الكبيرة.



الشكل (6) تصنيف المواد النسيجية الأوكسيتيك

فقد لاقى استخدام تكنولوجيا الغزل والنسيج والحياكة لإنتاج أقمشة الأوكسيتيك مزيداً من الاهتمام حاليَّاً. وينعكس ذلك في نطاق عمل البحوث المتاحة لاكتشاف الخصائص الأوكسيتيك لمختلف تراكيب الأقمشة. كما تمَّ في السنوات الأخيرة تطوير أقمشة الأوكسيتيك باستخدام أنواع مختلفة من التصميمات والتراكيب كالتراكيب القابلة للطيّ وتراكيب المربعات الدَّوارة والتراكيب اللولبيَّة (الحلزونيَّة) الموضّحة في الشكل أدناه. [6]



الشكل (7) بعض أنواع التراكيب الأوكسيتيك

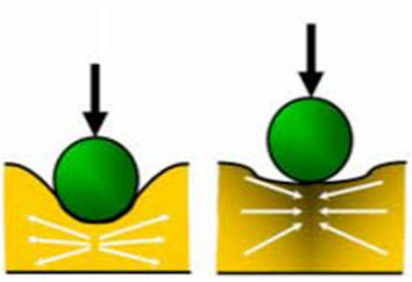
وهنا يجب التفريق بين مصطلح التركيب الهندسيّ للقماش وتركيب الحياكة للقماش، حيث أن تركيب الحياكة بحد ذاته ما هو إلا طريقة تشكيل القطب مع بعضها والذي يعتمد على التراكيب الأساسيَّة للحياكة كتركيب السنغل جورسيه أو الريب والتي تُعَّد تراكيباً أساسيَّةً في تصنيع أقمشة التريكو العرضيّ بشكلٍ عامٍ والتريكو العرضيّ المسطَّح بشكلٍ خاصٍّ والذي تم استخدامه في هذه الدراسة ، أما التركيب الهندسيّ فيقصد به الشكل الهندسيّ الذي يظهر على القماش نتيجة دمج الحياكات المختلفة (تراكيب الحياكة المستخدمة) ، ويمكن أن يتم تسميته في بعض الأحيان بالوحدة التكراريَّة (التكرار) حيث تظهر بعد الحياكة على سطح القماش كشكلٍ متكررٍ(مثلثات أو مربعات أو خلية النحل السداسيَّة) وهي بعض التراكيب الهندسيَّة المسؤولة عن إعطاء السلوك الأوكسيتيك.

بحيث يعتمد تشكيل التركيب الأوكسيتيك بشكلٍ أساسيٍّ على: [6]

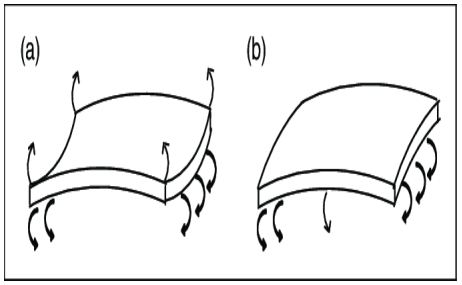
1- قطبة الحياكة: وهي المقياس الصغير لتوضع الخيط ضمن البنيَّة والمكون الأساسيّ للتركيب الأوكسيتيك الهندسيّ. حيث يحدد توازن القوى الداخليَّة ومرونة قطب الحياكة إمكانيَّة الطيّ الذاتيّ للتركيب الهندسيّ.

2- الوحدة التكراريَّة للتركيب الهندسيّ: وهي عبارة عن مجموعةٍ من القطب تعطي أصغر بنيَّةٍ من القماش والتي تُظهر استجابةً للطيّ الذاتيّ وتحمل الخواصّ الأوكسيتيك. وفي حال التركيب الذي استخدمناه في دراستنا فتُشكل الوحدة التكراريَّة بناءً على المحاذاة المتبادلة لقطب الوجه وقطب الخلف. حيث تتوضع قطب الوجه على شكل متوازي أضلاعٍ مجاورٍ لأخر من قطب الخلف. ونتيجة هذا التجاور ينشأ عدم استقرارٍ في القماش ناتجٍ عن قوى داخليَّةٍ تعمل على سحب القماش إلى الداخل أي قوى الطيّ الذاتيّ للقماش الأوكسيتيك.

ويُعّد السلوك الأكثر أهميَّةً والذي تتميَّز به أقمشة الأوكسيتيك أنه أثناء تعرض القماش للشدِّ في الاتجاهات الرأسيَّة أو الأفقيَّة، يتغير ميل الشكل الهندسيِّ الموجود في التركيب وتتوسع الزوايا الموجودة ضمنه فيما يتعلق بالمستوى السطحيِّ للتركيب. يؤدي الشدُّ إلى فتح التركيب بأكمله وبالتَّالي إلى زيادة الأبعاد في كل من الاتجاه الأفقيِّ والعموديِّ وهذا يؤدي إلى الحصول على معدَّل بواسون سالب (NPR) أي إعادة توزع لهندسة الفراغ الموجود ضمن التركيب. يتسبب الحجم المعاد توزيعه في حدوث تغييراتٍ في المظهر الجماليِّ وكذلك في الخصائص الوظيفيَّة مثل العزل الحراريّ، وامتصاص الصَّوت، وامتصاص الطاقة، والصلابة، والمتانة، إلخ. [6]



الشكل (8) مقاومة الضغط المحلي



الشكل (9) قدرة الجسم على تشكيل انحناء

2-أهميَّة وهدف البحث:

تأتي أهميَّة الدراسة في تطوير منتجاتٍ ذات ميزّاتٍ مبتكرةٍ يمكن أن تمثل قيمةً مضافةً مهمةً للقماش دون زيادة تكاليف الإنتاج. وذلك من خلال العمل على التصميم الهندسيِّ ودمج المعرفة والمهارات في مجال الحياكة وتصميمها لذلك تُعَّد محاولة إدخال التراكيب الأوكسيتيك إلى مجال الغزل والنسيج من خطوة هامة جداً حاليَّاً وخاصَّةً لإمكانيَّة استغلال الموارد المتاحة من تقنيَّاتٍ ومواد أوليَّةٍ في الأسواق السوريَّة دون زيادة تكاليف الإنتاج.

- أمّا هدف البحث فيرتكز على دراسة إمكانيَّة إنتاج عيِّنات أقمشة تريكو ذات مواصفات أوكسيتيك وإثبات امتلاكها لهذه الخاصِّيَّة من خلال حساب معدَّل بواسون، بالإضافة لدراسة تأثير تغيير (زاوية التركيب الهندسيِّ للقماش المنتج، عدد القطب في التركيب، أنواع الخامات المستخدمة) على قيمة معدَّل بواسون للقماش وبالتَّالي على الخواصِّ الأوكسيتيك له.

3- الدراسة العمليَّة:

3-1: مواد وطرائق البحث:

❖ **المواد المستخدمة في إنتاج العيِّنات:**

تمَّ استخدام عدَّة أنواعٍ من الخيوط والتي تتوفر بشكلٍ أساسيٍّ في الأسواق السوريَّة والتي تتمتع بخواصٍّ مناسبةٍ للتشغيل على آلة الحياكة المسطَّحة والموضَّحة في الجدول التَّالي:

جدول (1) أنواع ومواصفات الخيوط المستخدمة

نوع المادة الأولية	بولي أميد	بولي أكريليك	ممزوج (بولي أميد 80% / بولي إستير 20%)	قطن 100%
نمرة الخيط (Tex)	16	16	16	16

الأجهزة المستخدمة في إنتاج العيِّنات:

1- آلة حياكةٍ مسطحةٍ إلكترونيَّةٍ (Shima Seiki اليابانيَّة) وباستخدام البرنامج

SDS-ONEالمتوافق مع هذا النوع من الآلات.

الشكل (10) آلة الحياكة المسطَّحة

بارامترات عملية إنتاج العينات:

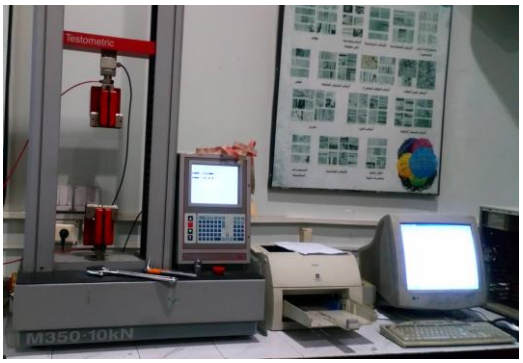
سرعة آلة الحياكة: 100 m/min، الكيج (نعومة الآلة): 7 Needle/inch، عدد الخيوط المُغذات في الإبر: 3 خيوط، وذلك مع تثبيت أبعاد العيِّنات على الماكينة cm^2 (50x50)

الأجهزة المستخدمة في اختبار العيِّنات:

جهاز قياس قوة الشدّ:

تمَّ استخدام جهاز قياس قوة الشدّ الميكانيكيّ من طراز (M350-10KN Testometric) وقد تمَّ توحيد بارامترات الاختبار الذي أُجري لكل العيِّنات حيث تمَّ ضبط سرعة شوط الجهاز على 100 mm/min، وطول المباعدة (المسافة بين الفكين) هو 60 mm، وضمن الشروط القياسية للتجربة بدرجة حرارة الاختبار 2 ± 25 درجة مئويَّة، والرطوبة 5% ± 65%.

- كاميرا فيديو: الكاميرا المستخدمة هي كاميرا CANON تمَّ تسجيل الفيديوهات بدقة 25 صورة/الثانية



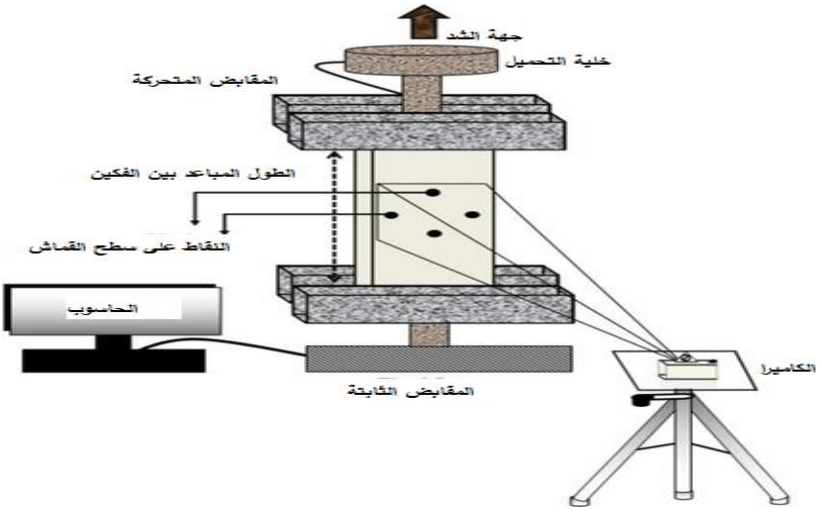
الشكل (11) جهاز اختبار قوة الشدّ

الشكل (12) كاميرا الفيديو

❖ حساب معدَّل بواسون:

يُعرّف معدَّل بواسون (ν) لمادةٍ ما *بأنه* النسبة السالبة للإجهاد العرضيّ إلى الإجهاد الطوليّ في اتجاه تطبيق الحمل (الشدّ).

وللحصول على معدَّل بواسون (ν) للأقمشة التي تمَّ إنتاجها، تمَّ اختبار العيِّنات باستخدام جهاز شدٍّ مزوَّدٍ بكاميرا تصويرٍ رقميَّةٍ من أجل تسجيل التغير اللحظيّ للعيِّنة نتيجة الشدّ المطبق عليها من أجل فتح طيَّات القماش وذلك من أجل دراسة تغير معدَّل بواسون للعيِّنة عن طريق معالجة الصور على برنامج معالجة الصورة ImageJ أي أن تحمل العيِّنة الخواصّ الأوكسيتيك المطلوبة.



الشكل (13) شكل تخطيطي لعملية فرد طيّات القماش بواسطة جهاز الشدّ

يُحسب معدَّل بواسون (ν) وفقاً لما يلي:

معادلة:

$$\gamma = -\varepsilon_t / \varepsilon_a$$

حيث أن ε_a و ε_t هما الإجهاد الطوليّ والعرضيّ على التَّوالي.

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta r}{r_0} = \frac{r - r_0}{r_0}$$

$$\varepsilon_a = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

r: العرض بعد فتح الطيَّات. r_0: العرض في وضع الرَّاحة قبل فتح الطيّات.

L: الطول النهائيّ بعد فتح الطيات. L_0: الطول البدائيّ في وضع الرَّاحة قبل فتح الطيّات.

2-4: تصميم وإنتاج العيِّنات:

في هذا البحث، تمَّ استخدام آلة الحياكة المسطَّحة المؤتمتة Shima Seiki لتصنيع أقمشة الأوكسيتيك التي يفترض أن تتوسع عرضيَّاً عند تعرضها للشدّ الطوليّ. وقد تمَّ استخدام برنامج SDS-1 وتصميم (21) عيِّنة بتركيب زيك -زاك بعدَّة أنواع خيوطٍ وبزاويتين مختلفتين للتركيب الهندسي وعدد قطبٍ مختلفٍ. كما هو موضحٌ في الأشكال التَّالية:

الشكل (14) تركيب الزيك- زاك / خيط ممزوج

الشكل (15) تركيب الزيك- زاك /خيط بولي أكريليك

الشكل (16) تركيب الزيك– زاك /خيط قطن	الشكل (17) تركيب الزيك– زاك /خيط بولي أميد

- ✓ **تركيب الزيك –زاك بزاوية 90°:**

تم إنتاج 15 عيِّنة من هذا التركيب وباستخدام أربع أنواعٍ من الخامات (قطن، ممزوج، بولي أميد وبولي أكريليك) وبعدد قطبٍ مختلفٍ (12X12, 10X10, 8X8)

- ✓ **تركيب الزيك– زاك بزاوية 45°:**

تمَّ إنتاج ست عيِّناتٍ من هذا التركيب حيث استخدمنا ثلاث أنواعٍ من الخيوط لإنتاج العيِّنات (قطن، ممزوج وبولي أميد)، عيِّنتين من كل نوع خيطٍ بعدد قطبٍ مختلفٍ(8X12, 4X12).

مواصفات التراكيب للعيِّنات التي تمَّ تصميمها وإنتاجها موضحة في الجدول رقم (2).

جدول (2) مواصفات عيِّنات الأقمشة المنتجة.

العينة	اللون	نوع الخيط	التركيب	الزاوية	عدد القطب	عدد الخيوط	الكيج needle\inch	السماكة mm	السرعة mm/min
1	خمري	ممزوج	زيك - زاك	90°	8*8	3	7	2.2	100
2	خمري	ممزوج	زيك - زاك	90°	10*10	3	7	2.2	100
3	خمري	ممزوج	زيك - زاك	90°	12*12	3	7	2.2	100
4	خمري	ممزوج	زيك - زاك	90°	6*6	3	7	0.6	100
5	زيتي	بولي أميد	زيك - زاك	90°	12*12	3	7	1.8	100
6	زيتي	بولي أميد	زيك - زاك	90°	8*8	3	7	1.8	100
7	زيتي	بولي أميد	زيك - زاك	90°	10*10	3	7	1.8	100
8	زيتي	بولي أميد	زيك - زاك	90°	6*6	3	7	0.8	100
9	أسود	بولي أكريليك	زيك - زاك	90°	6*6	3	7	0.4	100
10	أسود	بولي أكريليك	زيك - زاك	90°	10*10	3	7	2.1	100
11	أسود	بولي أكريليك	زيك - زاك	90°	8*8	3	7	2	100
12	أبيض / أزرق	قطن	زيك-زاك	90°	12*12	3	7	2.8	100
13	أبيض / أزرق	قطن	زيك-زاك	90°	8*8	3	7	2	100
14	أبيض / أزرق	قطن	زيك-زاك	90°	10*10	3	7	2	100
15	أبيض / أزرق	قطن	زيك-زاك	90°	6*6	3	7	0.8	100
16	خمري	ممزوج	زيك - زاك	45°	12*8	3	7	2.3	100
17	خمري	ممزوج	زيك - زاك	45°	12*4	3	7	2.8	100
18	زيتي	بولي أميد	زيك - زاك	45°	12*8	3	7	2	100
19	زيتي	بولي أميد	زيك - زاك	45°	12*4	3	7	2.8	100
20	أبيض / أزرق	قطن	زيك-زاك	45°	12*8	3	7	2	100
21	أبيض / أزرق	قطن	زيك-زاك	45°	12*4	3	7	2	100

4-مقارنة العيِّنات:

من أجل تحقيق هدف البحث ودراسة تأثير البارامترات التي تمَّ ذكرها سابقاً قمنا بتقسيم العيِّنات وفقاً للبارامترات المدروسة حسب الجداول التَّالية:

- ✓ **أولاً: لدراسة تأثير المادة الأوليَّة قمنا بتثبيت كافة بارامترات الآلة بالإضافة إلى زاوية التركيب وكان المتغير الأساسيّ هو نوع الخامة المستخدمة.**

جدول (3) تصنيف العينات حسب زاوية التركيب

نوع الخامة	زاوية التركيب	عدد القطب
بولي أميد 100%	90	8x8
بولي أكريليك 100%	90	8x8
ممزوج (بولي أميد 80%- بولي إستير 20%)	90	8x8
قطن 100%	90	8x8

- ✓ **ثانياً: لدراسة تأثير زاوية التركيب قمنا بتثبيت كافة بارامترات الآلة بالإضافة لنوع المادة الأوليَّة وكان المتغير الأساسيّ هو زاوية التركيب.**

جدول (4) تصنيف العينات حسب زاوية التركيب

نوع الخامة	زاوية التركيب	عدد القطب
بولي أميد 100%	90	8x8
ممزوج (بولي أميد 80%- بولي إستير 20%)	90	8x8
قطن 100%	90	8x8
بولي أميد 100%	45	12x8
ممزوج (بولي أميد 80%- بولي إستير 20%)	45	12x8
قطن 100%	45	12x8

✓ **ثالثاً: لدراسة تأثير عدد القطب في التركيب قمنا بتثبيت كافة بارامترات الألة بالإضافة لنوع الخامة وكان المتغير الأساسيّ هو عدد القطب في التركيب.**

جدول (5) تصنيف العينات حسب عدد القطب

نوع الخامة	زاوية التركيب	عدد القطب
بولي أميد 100%	90	8x8
بولي أميد 100%	90	10x10
بولي أميد 100%	90	12x12
بولي أكريليك 100%	90	8x8
بولي أكريليك 100%	90	10x10
بولي أكريليك 100%	90	12x12
ممزوج (بولي أميد 80%- بولي إستير 20%)	90	8x8
ممزوج (بولي أميد 80%- بولي إستير 20%)	90	10x10
ممزوج (بولي أميد 80%- بولي إستير 20%)	90	12x12
قطن 100%	90	8x8
قطن 100%	90	10x10
قطن 100%	90	12x12

5-نتائج اختبار العيِّنات:

5-1: حساب معدَّل بواسون:

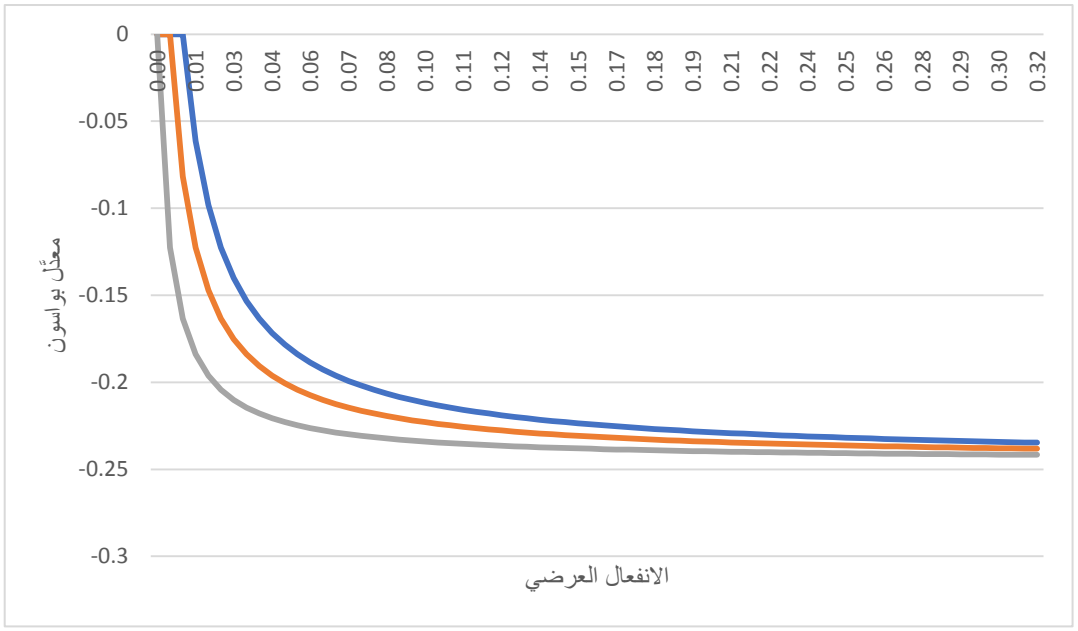
- تمَّ تجهيز العيِّنات الأوكسيتيك (القابلة للطيّ في دراستنا) لحساب معدَّل بواسون عن طريق إضافة نقاط على سطح العيِّنات من أجل حساب التغير في أبعاد العيِّنة بالطول والعرض عند فتح الطيّات لحساب الإجهاد والانفعال وحساب معدَّل بواسون بشكلٍ لحظيٍّ خلال الاستعانة بجهاز الشد لفتح الطيّات عن طريق حركة المقبض المتحرك حيث كان الهدف الأساسيّ للتجربة هو حساب تغير الأبعاد حتى يتمَّ فرد كامل الطيّات وليس قوة الشد المطبقة على القماش حتى الانهيار (القوة اللازمة لفتح الطيات).

- تمَّ إجراء الاختبار لكل عيِّنةٍ ثلاث مراتٍ وأخذ المتوسط الحسابيّ لها من أجل رسم منحنيات معدَّل بواسون للأقمشة المصنَّعة في كلا الاتجاهين الطوليّ والعرضيّ للقماش (أي اتجاه الأعمدة واتجاه الصفوف) لإظهار اتجاهات التباين لمعدَّل بواسون بتطبيق الشدّ المحوريّ بين العيِّنات المدروسة. وتكشف النتائج أن جميع العيِّنات أظهرت معدَّل بواسون سالباً وكانت تحمل الخواصَّ الأوكسيتيك وقد تبيَّن أنه مع الاستمرار بالشدّ فإن التأثير الأوكسيتيك لجميع العيِّنات يصل لقيمة حدّية ثم يبدأ بالانخفاض مع زيادة الشدّ المحوريّ باتجاهي الاختبار.
- مخطط معدَّل بواسون:

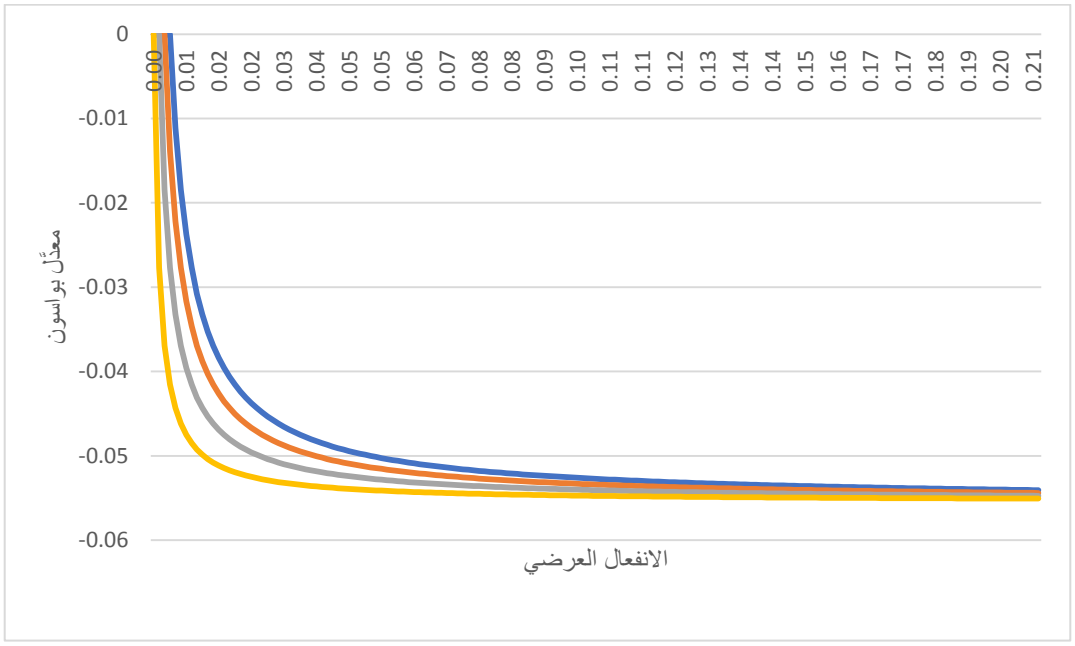
تمَّ احتساب معدَّل بواسون من خلال المعطيات المأخوذة من جهاز الشدّ الميكانيكيّ المستخدم لفك طيّات القماش، وذلك عن طريق تسجيل عمليَّة الشدّ كاملة منذ بداية التشغيل حتى وصول الفكين إلى أقصى حد ممكنٍ من الارتفاع وفك الطيّات في العيِّنات المختبرة باستخدام الكاميرا الرقميَّة. حيث تمَّ تحليل الفيديو إلى صورٍ منفصلةٍ بمعدل 25 صورةٍ في الثانية الواحدة.

تمَّ حساب كل القيم اللازمة لحساب معدَّل بواسون باستخدام برنامج معالجة الصورة Image j والحصول على مخطط التغير اللحظيّ لمعدَّل بواسون / الانفعال العرضيّ مع الزيادة في الشدّ المحوريّ المطبق لجميع العيِّنات كما هو موضح في المثال التَّالي (مخططات معدَّل بواسون للعيِّنة الأولى).

حيث يعبر كل خط من خطوط المخطط عن تغير معدَّل بواسون الناتج عن فتح طيَّة من طيَّات القماش وبالتَّالي التوسع بين النقاط المحددة سابقاً على القماش وتغير البعد بينها نتيجة الشدّ المطبق على العيِّنة. والفرق بين خطوط المخطط الواحد ناتج عن الفاصل الزمنيّ اللازم لفتح كل طيَّة على جهاز اختبار الشدّ.



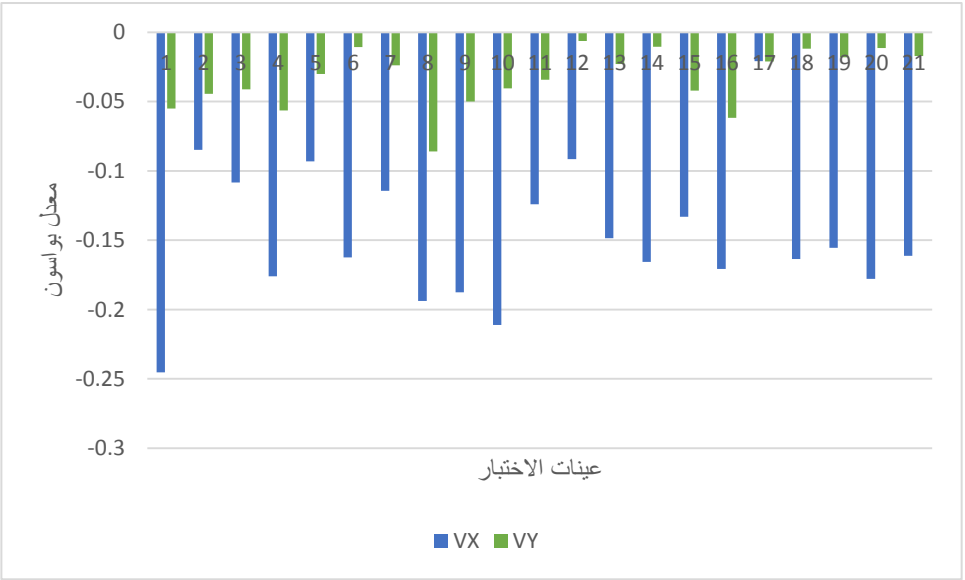
مخطط (1) معدَّل بواسون للعينة الأولى باتجاه الشدّ الطوليّ للعيّنة



مخطط (2) معدَّل بواسون للعيِّنة الأولى عند الشدّ بالاتجاه العرضي للعيّنة

جدول (6) نتائج معدَّل بواسون لجميع العيِّنات

العيِّنة	نوع الخيط	الزاوية	عدد القطب	VX	VY
1	ممزوج	90ْ	8*8	-0.2452	-0.0551
2	ممزوج	90ْ	10*10	-0.0847	-0.0445
3	ممزوج	90ْ	12*12	-0.1083	-0.0412
4	ممزوج	90ْ	6*6	-0.1761	-0.05641
5	أميد	90ْ	10*10	-0.0932	-0.03013
6	أميد	90ْ	12*12	-0.1625	-0.0108
7	أميد	90ْ	8*8	-0.1144	-0.0239
8	أميد	90ْ	6*6	-0.19375	-0.08588
9	أكريليك	90ْ	6*6	-0.1875	-0.05
10	أكريليك	90ْ	10*10	-0.2112	-0.0404
11	أكريليك	90ْ	8*8	-0.12414	-0.03435
12	قطن	90ْ	12*12	-0.09153	-0.00621
13	قطن	90ْ	8*8	-0.14849	-0.02292
14	قطن	90ْ	10*10	-0.16569	-0.01055
15	قطن	90ْ	6*6	-0.13304	-0.042
16	ممزوج	45ْ	12*8	-0.1707	-0.0618
17	ممزوج	45ْ	12*4	-0.02077	-0.02116
18	أميد	45ْ	12*8	-0.1636	-0.0119
19	أميد	45ْ	12*4	-0.1554	-0.01813
20	قطن	45ْ	12*8	-0.1577	-0.0115
21	قطن	45ْ	12*4	-0.16127	-0.01725



مخطط (3) القيم العظمى لمعدَّل بواسون السالب للعينات

حيث: v_x: معدَّل بواسون بالاتجاه الطوليّ (اتجاه الأعمدة).

V_y: معدَّل بواسون بالاتجاه العرضيّ (اتجاه الصفوف).

- نلاحظ أن معدَّل بواسون بالاتجاه الطوليّ له قيمٌ أعلى بكثير من قيم معدَّل بواسون بالاتجاه العرضيّ. ويعود السبب في ذلك لكون أقمشة التريكو العرضيّة لها استطالةٌ عرضيَّةٌ كبيرةٌ بالمقارنة مع استطالتها بالاتجاه الطوليّ.

5-2: نتائج حساب نسبة قابليَّة الطيّ الذاتيّ لتركيب الزيك-زاك:

بداية لابد لنا من التعريف بمصطلح نسبة الطيّ الذاتيّ للتركيب والتي تعبِّر عن قدرة التركيب الهندسيّ على تشكيل طيّات ثلاثيَّة الأبعاد في القماش الأوكسيتيك. وهو ناتج عن القوة الداخليَّة التي تنشأ عن وجود تعاكس في بنيَّة القطب المستخدمة في تشكيل التركيب الهندسيّ على سطح قماش الحياكة المنتج. وتتأثر نسبة الطيّ بعدَّة عوامل أهمها (التركيب الهندسيّ، تركيب الحياكة، عدد القطب في التركيب، المادة الأوليَّة لخيط الحياكة، الرطوبة .... إلخ)

تم قياس العيِّنات بعد الرَّاحة لمدة 24 ساعة ضمن جو المخبر. وقد لوحظ أن نسبة الطيّ بالاتجاه العرضيّ أكبر من نسبة الطيّ بالاتجاه الطوليّ وهذا يعود إلى بنيَّة قماش التريكو العرضيّ واستطالته بالاتجاه العرضيّ.

$$A\% = \frac{(L_0 - L)}{L_0} * 100\%$$

حيث أن:

L_0: الطول قبل الطيّ الذاتيّ (الطول على الآلة)

L: الطول بعد الطيّ الذاتيّ (الطول بعد تشكل الطيّات على سطح القماش بعد الخروج من الآلة والراحة)

- **نتائج نسبة قابليَّة الطيّ الذاتيّ:**

جدول (7) نتائج نسبة الطيَ A%.

العينة	الطول قبل الطيّ الذاتيّ	الطول بعد الطيّ الذاتيّ	A% بالطول	العرض قبل الطيّ الذاتيّ	العرض بعد الطيّ الذاتيّ	A% بالعرض
1	50	37	26	50	29	42
2	50	36	28	50	26	48
3	50	40	20	50	24	52
4	50	34	32	50	32	36
5	50	36	28	50	27	46
6	50	40	20	50	25.5	49
7	50	37.5	25	50	29	42
8	50	35	30	50	33	34
9	50	33	34	50	32	36
10	50	36	28	50	28	44
11	50	34.5	31	50	31	38
12	50	35	30	50	33	34
13	50	38	24	50	30.5	39
14	50	39.5	21	50	28	44
15	50	37	26	50	32	36
16	50	42	16	50	38	24

17	50	38	24	50	36	28
18	50	42	16	50	38.5	23
19	50	41	18	50	38	24
20	50	40	20	50	37	26
21	50	38	24	50	35	30

6- مناقشة النتائج:

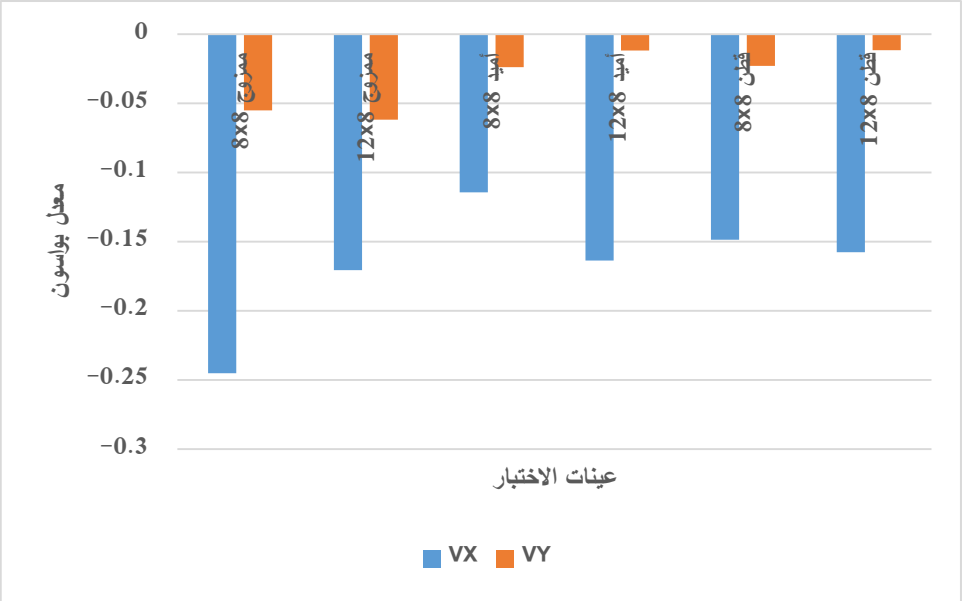
بتحليل نتائج الاختبارات التي سبق ذكرها في الجزء العملي وجدنا ما يلي:

- **دراسة تأثير زاوية التركيب:**

✓ تركيب الزيك –زاك يحمل الخواص الأوكسيتيك وقابليَّة طيٍّ ذاتيٍّ عاليةٍ في كلا الزاويتين كما أنه لهما نسبة طيٍّ ذاتيٍّ عاليةٍ أيضاً ولكن العيِّنات ذات تركيب الزيك –زاك عند زاوية تركيب 90° كان لها نسبة طيّ ذاتيّ أعلى من العيِّنات بزاوية 45° عند نفس عدد القطب ونفس نوع الخيط.

✓ معدَّل بواسون: اختلفت قيم معدَّل بواسون عند الزاويتين المدروستين باختلاف الخيط المستخدم عند نفس عدد القطب للتركيب حيث أن:

بالنسبة للخيط الممزوج كانت العيِّنة ذات الزاوية 90° لها قيمة معدَّل بواسون أعلى من العيِّنة ذات الزاوية 45° من نفس عدد القطب. في حين خيط البولي أميد وخيط القطن كانت قيم معدَّل بواسون في العيِّنات ذات الزاوية 45° أعلى من قيم معدَّل بواسون للعيِّنات من نفس عدد القطب ذات الزاوية 90°. كما هو مبين في المخطط رقم (4)

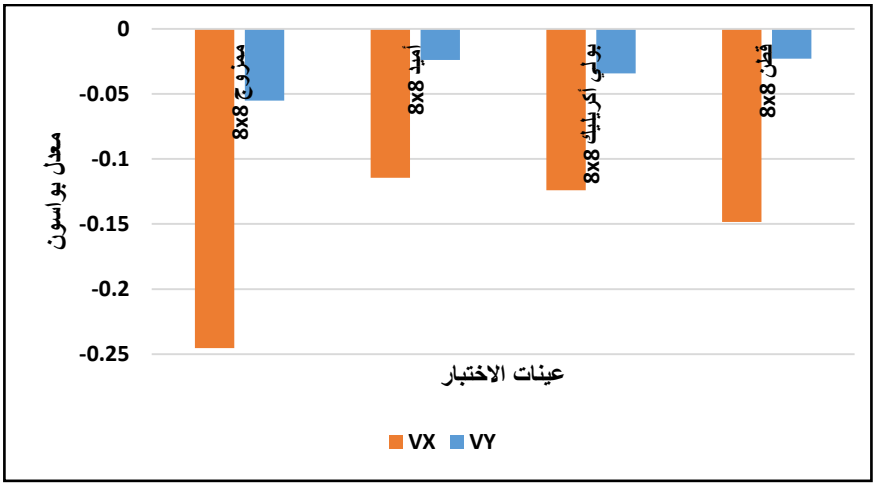


مخطط رقم (4) مخطط مقارنة تأثير زاوية التركيب على معدل بواسون

- **دراسة تأثير نوع الخيط المستخدم:**

✓ نسبة الطيّ الذاتيّ: العيِّنات التي تمَّ إنتاجها باستخدام خيط القطن كان لها ثباتيَّه طيٍّ منخفضةٍ حيث أثر نوع الخيط على ثباتيَّه الطيّات في العيِّنات (الانسداليَّة العالية التي تميز القطن). أما بالنسبة للخيوط الصناعية كانت قابلية الطي عالية.

✓ معدَّل بواسون: قد أظهرت جميع العيِّنات قيم معدَّل بواسون سالباً في كلا الاتجاهين الطوليّ والعرضيّ مع بقاء التأثير حتى وصول فكي الجهاز إلى أقصى حدٍ لهما دون عودة معدَّل بواسون إلى الارتفاع. حيث أن العيِّنات المنتجة باستخدام الخيط الممزوج (بولي أميد 20%، بولي أستر 80%) كان لها قيم معدَّل بواسون أعلى بالاتجاهين الطوليّ والعرضيّ من باقي العيِّنات من الخيوط الأخرى عند نفس عدد القطب وبزاوية تركيب واحدة كما هو موضح في المخطط رقم (5).



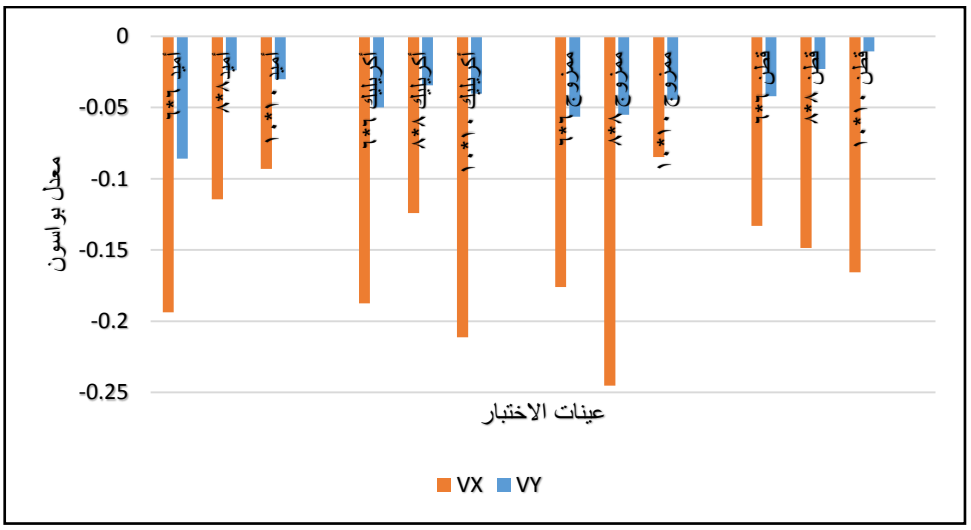
مخطط رقم (5) مخطط مقارنة تأثير نوع الخيط المستخدم على معدل بواسون

- **دراسة تأثير عدد القطب في التركيب:**

✓ إن عدد القطب المستخدم في تصنيع التراكيب له تأثير واضح في تشكيل زاوية التركيب وإعطاء التركيب سلوك طيّ مختلف بالإضافة إلى تأثير أوكسيتيك مختلف أيضاً.

✓ بيَّنت النتائج أن عدد القطب يؤثر على قيم معدَّل بواسون بشكل مختلف بالنسبة لكل نوع من الخيوط المستخدمة كما هو موضح في المخطط رقم (6). حيث أن:

- الخيط الممزوج كان له أفضل معدَّل بواسون عند عدد القطب 8*8، في حين أعطى قيم أقل عند عدد قطب أعلى أو أقل من 8*8.
- خيط البولي أميد أعطى أعلى قيمة معدَّل بواسون عند عدد القطب 6*6 وأصبحت القيم أقل بزيادة عدد القطب في التركيب.
- خيط البولي أكريليك أعطى أعلى قيم معدَّل بواسون عند عدد قطب 10*10 في حين كان أقل عند عدد قطب أقل من 10*10.
- بالنسبة لخيط القطن كانت أفضل قيم معدَّل بواسون عند عدد القطب 10*10 في حين أصبحت قيم معدَّل بواسون أقل كلما كانت عدد القطب أقل في التركيب.

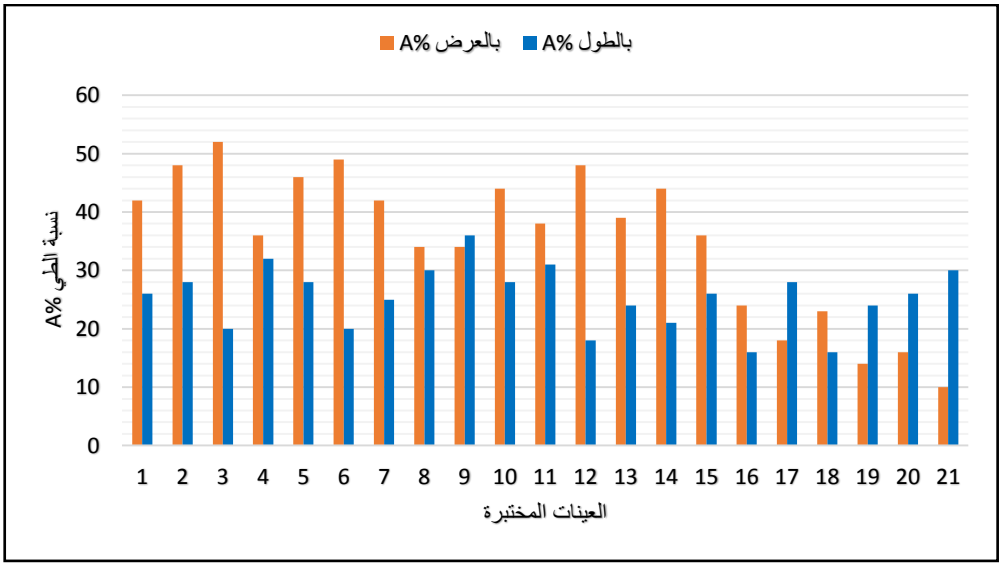


مخطط رقم (6) مخطط مقارنة تأثير عدد القطب في التركيب على معدل بواسون

- **دراسة قابليَّة الطيّ الذاتيّ للعينات المنتجة:**

✓ أظهرت عيِّنات تركيب الزيك–زاك بزاويتي التركيب نسبة طيٍّ ذاتي كبيرة نسبياً والتي اختلفت بشكلٍ ملحوظٍ بين عيِّنات الخيط الواحد مع تغير عدد القطب حيث أنه كلما كان عدد القطب في التركيب أقل كلما زاد الطيّ العرضيّ أكثر من الطيّ الطوليّ في حين تزداد نسبة الطيّ الطوليَّة في العيِّنات ذات القطب الأكثر في التركيب أكثر من الطيّ العرضيّ لها.

✓ وقد أظهرت عيِّنات تركيب الزيك–زاك بزاوية تركيب 90° نسبة طيٍّ كبيرةٍ في حين أظهرت عيِّنات تركيب الزيك–زاك بزاوية تركيب 45° قابليَّة طيٍّ ذاتيٍّ جيدة ولكن كانت نسبة الطيّ لها أقل بالمقارنة مع عيِّنات تركيب الزيك–زاك بزاوية 90° من نفس عدد القطب لنوع الخيط نفسه وبسماكاتٍ عاليةٍ أيضاً كما هو موضح في المخطط رقم (7).



مخطط (7) قيم نسبة الطيّ الذاتيّ للعينات المختبرة

7- الاستنتاجات:

من خلال فهم آليات الطيَ الذاتيّ التي تم إنشاؤها بواسطة استخدام ودمج قطب الوجه والخلف، وزوايا التركيب التي تعطي التراكيب تأثير أوكسيتيك أكثر فاعليَّة، لوحظ أن:

- ✓ استطعنا من خلال هذا البحث تصميم وإنتاج عيِّنات قماش محاك باستخدام برنامج تصميم خاص بآلة حياكة مسطحة مؤتمتة وتطبيق العمل في معمل خاص في مدينة حلب.
- ✓ أثبتت الدراسة إمكانية إنتاج عيِّنات قماش محاك ذات مواصفات أوكسيتيك باستخدام الخامات المتواجدة في السوق السورية وباستخدام آلة حياكة مسطحة الكترونية متوافرة.
- ✓ إن زاوية الأشكال الهندسيَّة للتركيب تلعب دوراً هاماً في إظهار خاصّية الأوكسيتيك، بالإضافة إلى تأثيرها في سلوك الطيّ الذاتيّ للأقمشة المحاكة.
- ✓ إن الخصائص الماديَّة للخيط قد تؤدي إلى تباين في خصائص المنسوجات المصنعة، إلا أنها تظهر تأثيراتٍ أوكسيتيك مختلفة ناتجة عن تغير خامة الخيط المستخدم. حيث أبدت الخيوط الصّناعيَّة تأثيراً أكبر في إعطاء مواصفات الأوكسيتيك من الخامات الطبيعية كالقطن، وكانت الخيوط الممزوجة ذات التأثير الأكبر في إعطاء خاصّية الأوكسيتيك.

- ✓ إن عدد القطب المستخدم في تصنيع التراكيب له تأثير واضح في تشكيل زاوية التركيب وإعطاء التركيب سلوك طيّ مختلف بالإضافة إلى تأثير أوكسيتيك مختلف أيضاً.
- ✓ إعطاء فكرة واضحة عن كيفيَّة دراسة وعمل أقمشة الأوكسيتيك للاستفادة منها في المجالات الحياتيَّة والصنَّاعيَّة باعتبارها باباً جديداً لتطور الأداء الوظيفيّ للأقمشة المحاكة.

8- الاقتراحات والعمل المستقبلي:

بينما تم استخدام أنواع مختلفة من الخيوط بشكلٍ أساسيٍّ في هذا البحث، وجدنا أنه يمكن إنتاج تراكيب مماثلة باستخدام نفس التراكيب الهندسيَّة المقترحة بمجموعةٍ متنوعةٍ من المواد الأوليَّة. للمضيّ قدماً، يمكن العمل على تطوير نموذجٍ إحصائيٍّ يمكن استخدامه للتحقق من صحة ملاحظاتنا ومساعدتنا على التنبُّؤ بسلوك الطيّ بشكلٍ أكبر، بالإضافة إلى وصف التأثيرات المحدَّدة لنوع الخيط على سلوك الطيّ الذاتيّ وعلى الخواص الميكانيكيَّة لكل تركيب من التراكيب المقترحة للمنسوجات المحاكة.

ففي الواقع، لا تزال المنسوجات الأوكسيتيك في مرحلة التطوير. ولا تزال الأبحاث العلميَّة جاريةً لتصميم هذه الأقمشة وإنتاجها وتحسينها وفهمها بشكلٍ صحيحٍ. لذلك نقترح:

- ✓ استخدام تراكيب هندسية أخرى وباستخدام خامات مختلفة عن الخامات التي استخدمناها في دراستنا ومن ثم مقارنة النتائج مع النتائج التي حصلنا عليها.
- ✓ إجراء دراسة موسعة لأهم التطبيقات التي يمكن الاستفادة من أقمشة الأوكسيتيك فيها.
- ✓ استخدم نتائج هذه الدراسة لتطوير تصميماتٍ هندسيَّةٍ للقطب من شأنها أن تعطي تأثير أوكسيتيك للملابس والأجهزة النسيجيَّة الذكيَّة.
- ✓ إنتاج عينات جديدة باستخدام مواد أوليَّة مختلفة عن التي استخدمناها كالصوف والكتان وخيوط صنَاعيَّة أخرى لمعرفة تأثير هذه المواد على الخواصّ الأوكسيتيك للأقمشة.
- ✓ اختبار التراكيب التي أنتجناها باستخدام طرق اختبار جديدة لإدراك تأثير الخواصّ الأوكسيتيك على سلوك الأقمشة المنتجة وتوظيفها في مجالات صنّاعيِّة وحياتيَّة مختلفة.
- ✓ دراسة التصاميم المستقبليَّة من حيث قابليَّة الطيّ والتوسع والأداء تحت الضغط والإجهاد المستمر. باستخدام البارامترات المحدَّدة للطيّات.

- ✓ استخدام الأقمشة المنتجة في مجال ألبسة الحوامل كما يمكن استخدامها في أجزاء معيَّنة من الألبسة الرياضيَّة كمنطقة الكوع والركبة.
- ✓ استخدام الأقمشة القابلة للطيّ في العمارة الداخلية كالحواجز النسيجيَّة والستائر.

References:

1. Spencer, D. J. (2001). *Knitting Technology, A Comprehensive Handbook and Practical Guide*. Burlington: Burlington: Elsevier Science.
2. Dr. Abbas, Wedian, (2017)- Knitting Technology. Syria, Faculty of Chemical and Petroleum Engineering, Department of textile Engineering, Al-Baath University.in Arabic.
3. Evans KE, Nkansah MA, Hutchinson JI, et al, (1991)- Molecular network design. Nature.
4. Alderson KL, Pickles AP, Evans KE, (1994)- Auxetic Polyethylene: The effect of a negative Poisson's ratio on hardness. Acta Metall Mater 42.
5. Grima JN, Gatt R, (2005)- Empirical modelling using dummy atoms EMUDA an alternative approach for studying auxetic structures. Molecular Simulation 31.
6. Rant Darja, Rijavec Tatjana and Pavko, (2013)- Auxetic Textiles.
7. Pibo Ma, Yuping Chang, Andrews Boakye & Gaoming Jiang, (2016). Review on the knitted structures with auxetic effect.
8. Liu P, He C, Griffin A, (1998)- Liquid crystalline polymers as potential auxetic materials: Influence of transverse rods on the polymer mesophase. Abstracts of papers of the American chemical society 216. p. U108.
9. Lee W, Lee S, Koh C, et al, (2010)- Moisture sensitive auxetic materials.
10. Hook P, Evans K, (2006)- How do Auxetic Materials Work.
11. Ugbolue SC, Kim YK, Warner SB, et al, (2014)- Auxetic Fabric Structures and Related Fabrication Methods.
12. Alderson K, Evans K, (1992)- The fabrication of microporous polyethylene having a negative Poisson’s ratio. Polymer.
13. Alderson K, Alderson A, Anand S, et al, (2012)- Auxetic warp knit textile structures. Physical Status Solidi.
14. Miller W, Hook P, Smith CW, et al, (2009)- The manufacture and characterization of a novel, low modulus, negative Poisson’s ratio composite. Composites Science and Technology.
15. Gaspar N, Ren XJ, Smith CW, Grima JN, Evans KE, (2005)- Novel honeycombs with auxetic behavior. Acta Material 53.
16. The Japanese Shima Seiki company catalog.