Al-Academy Journal
Issue 117
Journal homepage: https://jcofarts.uobaghdad.edu.iq
ISSN(Online) 2523-2029/ ISSN(Print) 1819-5229
Crossref DOI: https://doi.org/10.35560/jcofarts1566

The effectiveness of digital simulation techniques in the design and analysis of woven fabric

Rasha Sameer Mujallid [a]

[a] *Department of Fashion and Textile Design, College of Designs and Arts ,Umm Al-Qura University, Makkah - Kingdom of Saudi Arabia*

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

ARTICLEINFO

Article history:
Received 4 April 2025
Received in revised form 11 April 2025
Accepted 12 April 2025
Published 1 August 2025

Keywords:
Effectiveness
digital simulation techniques
design
woven fabric

ABSTRACT

Digital simulation techniques in the field of designing and analysing woven fabrics is a recent technological revolution that allows researchers and engineers to create more efficient and accurate models and analyse the mechanical and physical properties of textiles before starting manufacturing, which saves time and effort compared to traditional methods.

The research aims to evaluate the accuracy and efficiency of TexGen in simulating woven fabrics, and identify the challenges and limitations associated with using TexGen. The study found that TexGen digital simulation software is able to represent textile structures with high accuracy, but is dependent on design settings and the quality of input data, and is an alternative to the traditional method, reducing cost and time and facilitating the optimisation of fabric design before manufacturing , It also supports environmental sustainability in the clothing and textile industry.

The research recommended the following: Improved integration of TexGen with advanced numerical simulation software to provide more comprehensive analysis. Conduct comparative studies with other types of simulation and numerical modelling techniques to better identify advantages and disadvantages..

DOI: https://doi.org/10.35560/jcofarts1566
Rasha Sameer Mujallid: The effectiveness of digital simulation techniques in the design and analysis of woven fabric
Al-Academy Journal - Issue 117 -ISSN(Online) 2523-2029 /ISSN(Print) 1819-5229

فاعلية تقنيات المحاكاة الرقمية في تصميم وتحليل الأقمشة المنسوجة

رشا سمير مجلد [1]

الملخص:

تعتبر تقنيات المحاكاة الرقمية في مجال تصميم وتحليل الأقمشة المنسوجة ثورة تكنولوجية حديثة تتيح للباحثين والمهندسين إنشاء نماذج أكثر كفاءة ودقة وتحليل الخواص الميكانيكية والفيزيائية للمنسوجات قبل البدء في التصنيع مما يوفر الوقت والجهد عن تنفيذها بالطرق التقليدية.

يهدف البحث إلى تقييم دقة وكفاءة برنامج TexGen في محاكاة الأقمشة المنسوجة، وتحديد التحديات والقيود المرتبطة باستخدام برنامج TexGen. وتوصلت الدراسة إلى أن برنامج المحاكاة الرقمية TexGen قادر على تمثيل التراكيب النسيجية بدقة عالية، ولكنه يعتمد على إعدادات التصميم وجودة البيانات المدخلة، ويعتبر بديلاً للطريقة التقليدية، مما يقلل التكلفة والوقت وتسهل تحسين تصميم الأقمشة قبل التصنيع، وأيضاً يدعم الاستدامة البيئية في مجال صناعة الملابس والنسيج.

أوصى البحث بما يلي: تحسين تكامل TexGen مع برامج المحاكاة العددية المتقدمة لتوفير تحليل أكثر شمولاً. وإجراء دراسات مقارنة مع أنواع أخرى من تقنيات المحاكاة والنمذجة الرقمية لتحديد الميزات والعيوب بشكل أفضل.

الكلمات المفتاحية: فاعلية ، تقنيات المحاكاة الرقمية ، تصميم ، الأقمشة المنسوجة.

- **الفصل الأول: الإطار المنهجي للبحث**

مشكلة البحث

شهد مجال صناعة الملابس والنسيج تطورات هائلة بسبب الثورة التكنولوجية في عصرنا الحالي وأصبح التوجه لتقنيات المحاكاة الرقمية أداة حيوية في صناعة الملابس والنسيج لأنها توفر الوقت والتكاليف الكبيرة مقارنة بالطرق التقليدية وتدعم الاستدامة البيئية. تسمح هذه التقنيات بمحاكاة خصائص الأقمشة المنسوجة بدقة عالية، مما يتيح للمصممين والمهندسين بتحليل الأداء والمظهر الجمالي قبل عملية التصنيع الفعلي، ونظراً لتنوع برامج المحاكاة التقنية وبرمجياتها واستخداماتها في هذا المجال، نجد أنه من الضروري تسليط الضوء على برامج المحاكاة الرقمية وفاعليتها وكفاءتها للباحثين والمهندسين والمهتمين بصناعة الملابس والنسيج. ومن التساؤلات التي يسعى البحث للإجابة عليها:

1.ما مدى إمكانية تنفيذ نماذج محاكاة رقمية للأقمشة المنسوجة ببرنامج TexGen ؟

2.ما الدور الذي تسهم به تقنيات المحاكاة الرقمية في تدعم ممارسات الاستدامة البيئية في صناعة النسيج؟

3. ما مدى فاعلية برنامج TexGenفي تمثيل وتحليل الأقمشة المنسوجة مقارنة بالمعايير العلمية والدراسات السابقة؟

أهمية البحث

صناعة الملابس والنسيج أصبحت تعتمد بشكل متزايد على المحاكاة الرقمية وذلك لتلبية متطلبات السرعة والجودة وتقليل التكلفة والاستدامة وتحسين تجربة المستهلك، وتكمن أهمية البحث الحالي في توجيه أنظار القائمين على التدريب والتدريس والباحثين والمهندسين في مجال صناعة الملابس والنسيج بأحدث البرامج التقنية في المحاكاة الرقمية وتمكينهم بمهارات المستقبل بكونها بدائل للطرق التجريبية التقليدية التي قد تكون مكلفة وتستغرق وقتًا طويلًا، للعمل على تطوير الأقمشة الذكية والوظيفية وتحسين أداء المنسوجات التقنية المستخدمة في التطبيقات الطبية والصناعية وللمساهمة في الابتكار والاستدامة البيئية، ولفتح المجال لبحوث أخرى للمقارنة بين أفضل برامج المحاكاة الرقمية في مجال صناعة الملابس والنسيج.

أهداف البحث

1- دور تقنيات المحاكاة الرقمية في تطوير الاستدامة البيئية في صناعة النسيج

2- تنفيذ نماذج رقمية للأقمشة المنسوجة (السادة – المبرد – متعدد الطبقات) ببرنامج المحاكاة الرقمي TexGen

3- تقييم فاعلية برنامج المحاكاة الرقمي للأقمشة المنسوجة TexGen

[1] قسم تصميم الأزياء والنسيج، كلية التصاميم والفنون، جامعة أم القرى، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية.

منهج البحث

سيتم اتباع المنهج الوصفي التجريبي، والذي يشمل مراجعة الأدبيات: لجمع المعلومات والدراسات السابقة حول موضوع البحث، وإجراء نماذج محاكاة باستخدام برنامج TexGen لمحاكاة الأقمشة المنسوجة واستبانة للمختصين ذوي الخبرة في مجال الملابس والنسيج وبرامج المحاكاة الرقمية لتقييم فاعلية برنامج المحاكاة الرقمي للأقمشة المنسوجة Texgen.

حدود البحث

برنامج المحاكاة الرقمي Texgenللأقمشة المنسوجة لتنفيذ نماذج رقمية للمنسوجات في البحث الحالي.

تحديد المصطلحات

المحاكاة (Simulation): المحاكاة هي إنشاء نموذج رياضي أو حاسوبي لنظام حقيقي أو افتراضي، بهدف دراسة سلوكه وفهم كيفية تفاعل مكوناته تحت ظروف مختلفة. تُستخدم المحاكاة في مجالات متعددة مثل الهندسة، الطب، الفيزياء، والعلوم الاجتماعية وصناعة المنسوجات (Banks, 2014). وتُعتبر أداة فعالة لتقليل التكاليف والوقت في التجارب العملية، حيث تسمح باختبار سيناريوهات مختلفة دون الحاجة إلى تجارب مادية مكلفة (Law, 2015).

تقنيات المحاكاة الرقمية في مجال النسيج والملابس **Digital simulation techniques are known in the textile and clothing (field):** هي استخدام برمجيات متقدمة لإنشاء نماذج افتراضية ثلاثية الأبعاد للمُنتجات النسيجية، تتيح للمستخدمين تحليل الأداء السلوكي والمادي للأقمشة دون الحاجة إلى تصنيع مادي. تعتمد هذه البرمجيات على بيانات فيزيائية دقيقة لمحاكاة خصائص المواد مثل الكثافة، المرونة، التمدد، والاحتكاك، وهو ما يوفر بيئة واقعية للتجريب والتعديل قبل الإنتاج الفعلي (Ng & Wang, 2019). وقد أكدت الأبحاث أن هذه المحاكاة تتيح تصوراً ديناميكيًا لسلوك القماش أثناء الحركة أو التفاعل مع الجسم، مما يُعد أداة فعالة في التصميم الهندسي والوظيفي للنسيج (Zhao & Yu, 2020).

محاكاة أو نمذجة التراكيب النسجية (Tissue Structure Modeling): هي عملية إنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد باستخدام برامج حاسوبية متخصصة. لفهم الخصائص الميكانيكية مثل المرونة، الصلابة، وقابلية التمدد (Humphrey, 2003) (Hunter et al., 2010).

- **الفصل الثاني: الإطار النظري للبحث**

المبحث الأول: تقنيات المحاكاة الرقمية وتطورها في صناعة النسيج:

أدى التقدم التكنولوجي في العقدين الأخيرين إلى إدخال تقنيات المحاكاة الرقمية في العديد من الصناعات، ومن بينها صناعة الملابس والنسيج، حيث أثبتت هذه التقنيات فعاليتها في دعم الابتكار، وتقليل زمن الإنتاج، وتحسين الجودة، خاصة في بيئة السوق المعاصرة التي تتسم بالتغير السريع وتعدد المتطلبات الفردية.

البرامج وتقنيات المحاكاة الرقمية:

توجد مجموعة متنوعة من البرمجيات التي تُستخدم في عمليات التصميم والمحاكاة في الملابس والنسيج، نذكر من بينها:

CLO 3D: أداة رائدة في محاكاة الملابس والأقمشة بشكل ثلاثي الأبعاد. تُستخدم لمحاكاة الملابس على نماذج بشرية ثلاثية الأبعاد، مع مراعاة حركة القماش وتفاعل الجسم معه.

المميزات:

- يقدم محاكاة فيزيائية واقعية لسلوك القماش.
- يدعم تصاميم الأزياء المعقدة والطبقات المتعددة.
- يتكامل مع أدوات التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD).

التطبيقات: يستخدم لتصميم الأزياء الرقمية وتقليل الحاجة إلى عينات مادية (Lin et al., 2021).

Optitex: منصة شاملة تجمع بين تصميم الأنماط ومحاكاة الأقمشة، سمح بمحاكاة نماذج النسيج بدقة عالية في مراحل الإنتاج، مما يساعد على التنبؤ بشكل وملمس النسيج قبل التصنيع.

المميزات:

- يوفر محاكاة واقعية لحركة القماش وانسداله.
- يتضمن مكتبات لخصائص المواد المختلفة.
- يدعم تصميم الملابس افتراضياً قبل القص والخياطة.

لتطبيقات: يستخدم على نطاق واسع في صناعة الأزياء لتقليل النفايات وتحسين التصاميم (Wang., & Sun ,2001).

TexGen: برنامج مفتوح المصدر طورته جامعة نوتنجهام خصيصًا لمحاكاة بنية النسيج وتحليل الخواص الميكانيكية تحت ظروف محددة مثل الشد، الضغط أو الحرارة

المميزات:

- يدعم نمذجة الأنسجة ثنائية وثلاثية الأبعاد.
- يتكامل مع برامج تحليل العناصر مثل ABAQUS وANSYS.
- يوفر أدوات لتحليل هندسة الخيوط وتداخلاتها.

التطبيقات: يستخدم في محاكاة خصائص الأنسجة المركبة والتنبؤ بأدائها الميكانيكي (Sherburn, 2007) ،ولقد تم اختيار برنامج Texgen للبحث الحالي لأنه برنامج مفتوح المصدر يسهل الحصول عليه لجميع العاملين والمهتمين بمجال صناعة المنسوجات ،ولتنفيذ نماذج البحث لدراسة فاعلية محاكاة الأقمشة المنسوجة.

وفقاً لدراسة(2019) Ng & Wang ، فإن هذه البرمجيات لا تساعد فقط في تحسين الكفاءة والمرونة الإنتاجية، بل تسهم أيضاً في دعم الاستدامة البيئية، من خلال تقليل العينات المادية المستخدمة خلال التجريب والتطوير.

ولقد شهدت المحاكاة الرقمية تطورات حديثة شملت التكامل مع تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) والتعلم الآلي، بحيث أصبحت الأنظمة قادرة على اقتراح تحسينات أو تصميمات جديدة بناءً على البيانات المدخلة. كما أن إدماج الواقع المعزز (AR) والواقع الافتراضي (VR) في برمجيات التصميم، أصبح يسمح بتجربة التصاميم افتراضيًا من قبل العميل أو فريق الإنتاج، مما يعزز تجربة "المتجر الرقمي "أو "التصميم التعاوني عن بُعد." وأشارت الدراسات إلى أن المصانع التي تعتمد على المحاكاة الرقمية تحقق فوائد ملموسة مثل: تخفيض الكلفة بنسبة تصل إلى 30.%،وتقليل زمن الوصول إلى السوق بنسبة 40–50.%، وتحسين دقة القياسات وملاءمة المنتجات للمستهلكين وإمكانية إنتاج عينات افتراضية للعرض قبل مرحلة التصنيع. وتقلل من النفايات والموارد المستخدمة، مما يعكس التوجه العالمي نحو الاستدامة والتصنيع الذكي. (Glogar, et al, 2025) (Ng & Wang, 2019).

المبحث الثاني: فاعلية المحاكاة الرقمية في تحليل المنسوجات وأدائها الوظيفي

مع تطور متطلبات الأداء الوظيفي في المنتجات النسيجية، مثل مقاومة الشد، العزل الحراري، والمرونة، أصبح من الضروري دراسة التركيب البنائي للنسيج بدقة. وقد أتاحت تقنيات المحاكاة الرقمية إمكانيات جديدة لتحليل هذه البنية دون الحاجة إلى إجراء تجارب فيزيائية مكلفة أو مدمّرة للعينات. فالنماذج الرقمية تعتمد على تمثيل النسيج بطريقة ثلاثية الأبعاد، حيث يمكن للمستخدم تحديد نوع الخيوط، نوع النسج، كثافة الغرز، والزوايا بين الخيوط. ومن خلال هذه النماذج يمكن تحليل الأداء الميكانيكي للنسيج، مثل مقاومة الشد، الانضغاط، والسلوك تحت ظروف مختلفة (Dixit, et al., 2013).

التحديات والاتجاهات المستقبلية

التحديات:

دقة النماذج: الحاجة إلى بيانات دقيقة وواقعية لإنشاء نماذج موثوقة. تُعد جودة البيانات المدخلة عاملاً أساسياً في دقة النماذج الحاسوبية (Hunter et al., 2010).

قوة الحوسبة: الحاجة إلى أجهزة حاسوبية قوية لمعالجة النماذج ثلاثية الأبعاد المعقدة. تُعد قوة الحوسبة عاملاً مهماً في تطوير نماذج عالية الدقة (Banks, 2013).

الاتجاهات المستقبلية:

يُتوقع أن يلعب الذكاء الاصطناعي دوراً كبيراً في تحسين دقة المحاكاة الرقمية للنماذج الحاسوبية. حيث يمكن أن تُساعد خوارزميات التعلم العميق في تحليل البيانات البيولوجية وإنشاء نماذج أكثر دقة (Brown et al., 2017). وتطوير برامج متخصصة تُساعد في تحسين دقة النماذج وتقليل الوقت اللازم لإنشائها (Krzywanski, et al., 2024)

المبحث الثالث: دورتقنيات المحاكاة الرقمية في الاستدامة البيئية في صناعة النسيج

في ظل التوجه العالمي نحو الصناعات المستدامة، باتت صناعة النسيج مطالبة بإيجاد حلول تقلل من التأثيرات البيئية الناتجة عن عمليات الإنتاج التقليدية. وقد ساهمت تقنيات المحاكاة الرقمية في إعادة هيكلة أساليب التصميم والتصنيع بما يتماشى مع أهداف الاستدامة البيئية.

- تقليل الهدر في المواد والطاقة من خلال إنشاء نماذج رقمية دقيقة، يمكن للمصممين اختبار الأفكار وتعديلها افتراضياً دون الحاجة إلى تصنيع عينات متعددة، مما يقلل بشكل كبير من الهدر في الأقمشة والخامات. كما أن المحاكاة تساهم في تحسين استغلال المساحات داخل النموذج وتحديد الأنماط الأكثر كفاءة، وهو ما ينعكس إيجاباً على تقليل استهلاك الطاقة والموارد (Muthu & Gardetti, 2022).
- دعم التصنيع عند الطلب والحد من الإنتاج الزائد بتقديم تصاميم مخصصة للعملاء عبر الإنترنت دون الحاجة إلى إنتاج مخزون كبير مسبقاً. فيقلل من فائض الإنتاج ويحد من مشكلة النفايات في قطاع النسيج، خاصة في صناعة الموضة السريعة (fast fashion)، والتي تُعد من أبرز المساهمين في التلوث الصناعي (Chen, at al,2020)
- تقييم دورة حياة المنتج وتحليل الأثر البيئي تساعد تقنيات المحاكاة المتقدمة على تحليل دورة حياة المنتج منذ التصميم وحتى نهاية الاستخدام، مما يتيح للمصممين تعديل المواد والتقنيات للوصول إلى أفضل أداء بيئي. ولاتخاذ قرارات أكثر وعياً واستدامة (Henry,et al, 2016).
- المحاكاة كأداة توعوية وتعليمية في الاستدامة إضافة إلى التطبيقات الصناعية، تُستخدم في المؤسسات التعليمية لتدريب الطلاب على مبادئ التصميم المستدام، مما يعزز من جاهزيتهم للانخراط في سوق عمل يتطلب ممارسات مسؤولة بيئياً.

الدراسات السابقة

تعدد استخدام المحاكاة والنمذجة الرقمية في مجالات مختلفة في الطب والهندسة وصناعة المنسوجات لأن هذه البرامج تسمح بإنشاء نماذج دقيقة وتحليلها باستخدام معادلات رياضية وخوارزميات حاسوبية (Ravichandran, et al., 2021)، تُستخدم هذه البرامج أيضاً لتحليل البيانات وإنشاء نماذج تفاعلية تُساعد في فهم العمليات المعقدة (Lamsfuss, & Bargmann, 2022) ونتطرق في هذا البحث للدراسات المتصلة بصناعة الملابس والمنسوجات:

- دراسة(Zhang, et al,2012) تناولت تطوير نموذج هندسي آلي للهياكل النسيجية باستخدام برنامج TexGen، حيث عرضت إمكانيات النمذجة التلقائية للأقمشة المركبة المعقدة. ركّزت الدراسة على دقة التمثيل الهندسي وسرعة توليد النماذج، وأظهرت أن TexGen يوفر توازناً جيداً بين الدقة وسهولة الاستخدام في تمثيل النسيج ثلاثي الأبعاد.

- دراسة (Niemeth et al, 2010) قيمت برامج المحاكاة لاستخدامها في تحليل العناصر للأقمشة المركبة. وقارنت بين عدة برامج بما فيها TexGen من حيث القدرة على تمثيل البنية المعقدة، وإدخال المعايير الفيزيائية، وتكاملها مع بيئات التحليل. أظهرت TexGen قدرة جيدة على النمذجة الدقيقة، ولكنها تحتاج إلى تحسين في التكامل مع أدوات المحاكاة الحرارية والميكانيكية.

- دراسة (Sherburn, 2017) تناولت المحاكاة الهندسية والميكانيكية للأقمشة باستخدام TexGen، مع التركيز على المحاكاة ثلاثية الأبعاد وتحليل الأداء للأقمشة. طورت الدراسة نماذج قابلة للتخصيص بدرجة عالية، وأثبتت أن TexGen أداة فعالة في تمثيل التأثيرات الفيزيائية مثل التشوه والانضغاط في الهياكل النسيجية.

- دراسة (Long et al,2009) استعرضت الدراسة خصائص TexGen في توصيف ومحاكاة الأنسجة المعقدة، مع تطبيقات على المواد المركبة الصناعية. وناقشت قدرة البرنامج على بناء نماذج هندسية مرنة وقابلة للتخصيص حسب مدخلات المستخدم، وأكدت على فائدته في البحث الصناعي والأكاديمي.

- دراسة (Casetta et al., 2001) استخدمت للمحاكاة الرقمية نماذج رياضية لتحسين عملية صباغة الأقمشة. تم استخدام برامج محاكاة لتوقع انتشار الصبغة في الأنسجة وتأثير العوامل مثل درجة الحرارة وتركيز الصبغة.

- دراسة (Chen et al., 2018) ركزت على نمذجة الخصائص الميكانيكية للأقمشة، مثل المرونة والقوة. استخدم الباحثون برامج مثل COMSOL Multiphysics لإنشاء نماذج ثلاثية الأبعاد للأقمشة وتحليل سلوكها تحت الضغط.

- دراسة (Umair, et al., 2023) استخدمت المحاكاة الرقمية لدراسة تأثير تراكيب الأنسجة على خصائصها الحرارية لتحليل كيفية انتقال الحرارة عبر الأقمشة ذات الخصائص البنائية للنسيج (مثل كثافة السداء واللحمة، ونوع الخيوط، وسمك القماش) وتؤكد الدراسة على أهمية المحاكاة في التنبؤ بالأداء الحراري للأقمشة، مما يخدم تطبيقات متنوعة خاصة في الملابس الواقية والتقنيات الذكية

- دراسة (Wang &Sun ,2001) هدفت إلى تطوير أسلوب لمحاكاة عمليات تصنيع النسيج باستخدام تقنية العناصر الرقمية (Digital Element Simulation)، وذلك لفهم التفاعلات المعقدة بين خيوط النسيج خلال عمليات مثل النسيج والحياكة. اعتمد الباحثان على نموذج رقمي يمكنه تمثيل التداخل بين الخيوط والعُقد والاحتكاك، مع الأخذ في الاعتبار خواص المواد الفيزيائية. وقد أظهرت نتائج المحاكاة توافقاًجيداًمع السلوك الفعلي للأقمشة، مما يدل على كفاءة النموذج في تمثيل العمليات النسيجية بشكل واقعي. تسهم هذه الدراسة في تحسين فهم العمليات التصنيعية للأقمشة المركبة وتوفر أداة فعالة للتصميم الافتراضي قبل التصنيع الفعلي.

- دراسة (Gupta et al., 2019) استخدمت نماذج رياضية لتحسين عملية قص الأقمشة. تم استخدام برامج محاكاة لتحليل تأثير العوامل مثل سرعة القص وزاوية القص على دقة العملية.

أكدت الدراسات السابقة على الدور الهام الذي تقدمه تقنية المحاكاة الرقمية في مجال صناعة المنسوجات فهي تقلل من الهدر وتحسن كفاءة الإنتاج، وتحسن من دقة التحكم في عملية الصباغة، وتساعد في تصميم أقمشة ذات خصائص ميكانيكية مُحسنة، وأقمشة ذات عزل حراري أفضل، وتحسن من كفاءة عمليات التشطيب، وتقلل من الهدر وتحسن دقة القص، وتوفير الجهد والوقت، ولقد استخدم هذا البحث برنامج TexGen للمحاكاة الرقمية لتصميم التراكيب النسيجية مفتوح المصدر يعتمد على النمذجة الحسابية لإنشاء النماذج.

- **الفصل الثالث: الإطار الإجرائي للبحث**

مجتمع البحث : يشمل المختصين الأكاديمين في مجال الملابس والنسيج عدد (5) كعينة قصدية لديهم خبرة عملية أو بحثية بتقنيات المحاكاة للأقمشة المنسوجة.

عينة البحث : تنفيذ 5 نماذج منفذة بالمحاكاة الرقمية :

- استخدام برنامج TexGen.(TexGen 3.13.1 Released 2023)
- نوع النسيج(سادة 1/1 ، مبرد 2/2 ، متعدد الطبقات)
- خصائص الخيوط المدخلة(السمك ، الكثافة)

الخطوات الأساسية لاستخدام:TexGen في إنشاء نماذج المحاكاة الرقمية للأقمشة المنسوجة:

أ. الإعداد:

- تحديد نوع النسيج) :مثل(plain weave, twill, satin)
- إدخال معطيات الخيوط:(Yarns)
- عدد الطبقات
- تحديد أبعاد النسيج(Unit Cell Dimensions)

ب. توليد النموذج:

- **يقوم البرنامج بتوليد نموذج هندسي (3D)(2D) للنسيج.**

ج. تصدير النموذج:

- **يمكن تصديره إلى برامج أخرى مثل:**
- **ABAQUS**
- **ANSYS**
- **LS-DYNA**
- **أو ملف STL أو VTK لعرضه أو تحليله.**

د. تحليل الخواص:

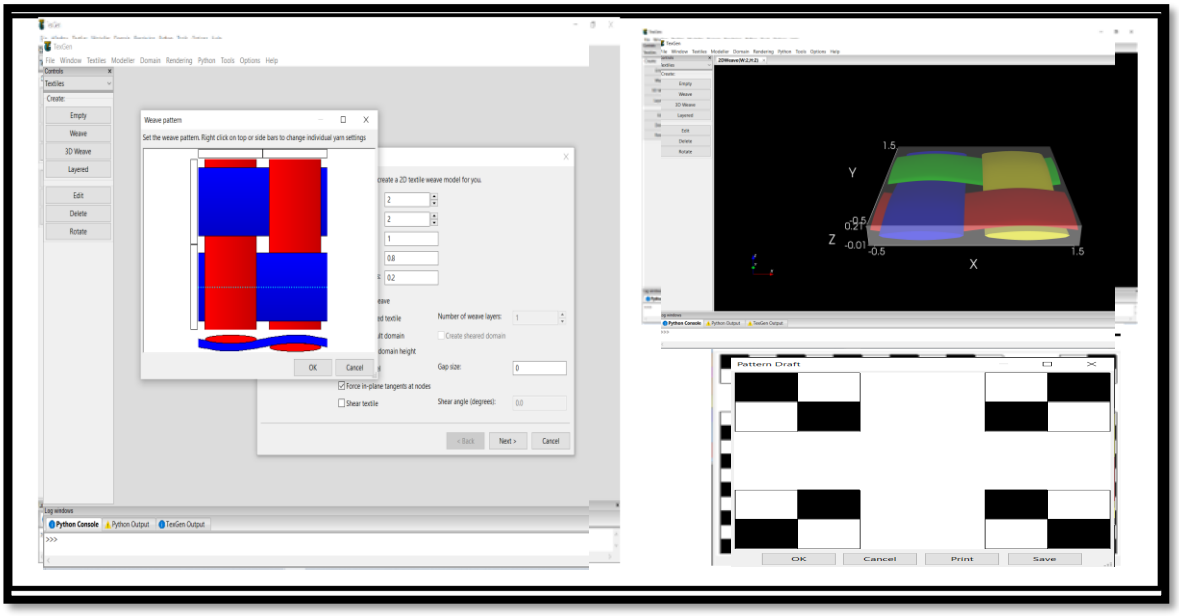
TexGen لا يقوم بتحليل خواص النسيج مباشرة، ولكن يُستخدم لتوليد النموذج الهندسي الذي يتم تحليله باستخدام برامج أخرى.بحيث يتم تصدير النموذج إلى برنامج مثل Abaqus أو ANSYS .

- **محاكاة نسيج سادة 1/1 :**

الشكل (1) يوضح النموذج نسيج سادة 1/1 D2

المواصفات:

- عدد خيوط السداء: 2
- عدد خيوط اللحمة: 2
- عرض الخيط: 1.0 مم
- ارتفاع الخيط: 0.3 مم
- المسافة بين الخيوط: 1.2 مم
- سمك النسيج: 0.6 مم
- عدد الطبقات: طبقة واحدة



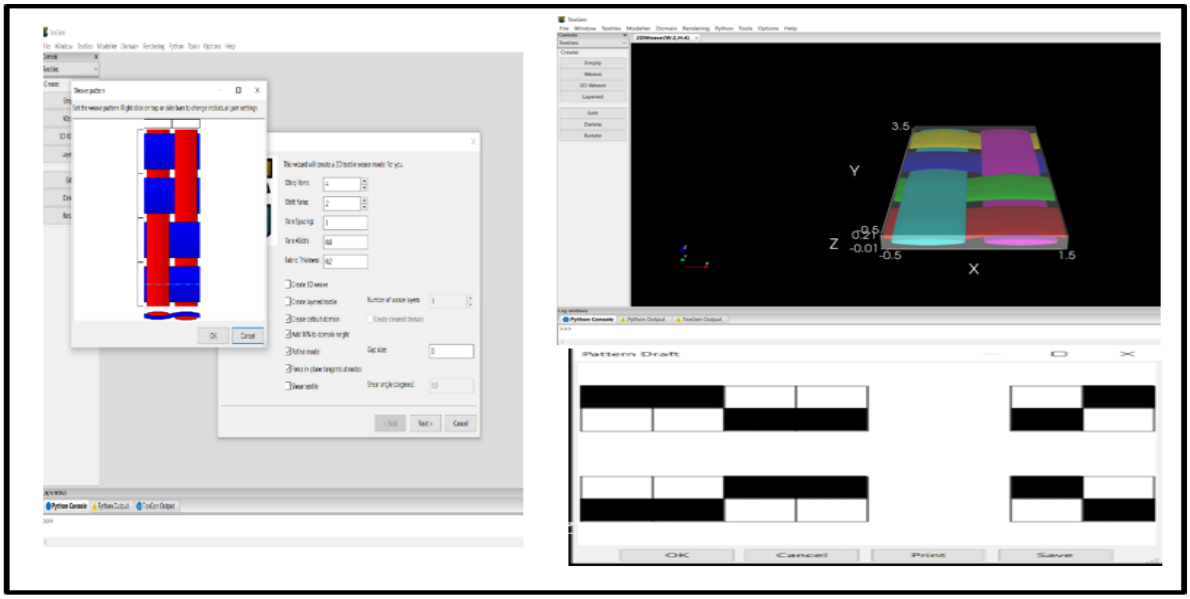
الشكل (1) نموذج المحاكاة النسيج سادة 1/1 D2 تم إعداد النموذج في TexGen

- **محاكاة النسيج السادة الممتد في اتجاه السداء 2 / 2:**

شكل (2) يوضح نموذج النسيج السادة الممتد في اتجاه السداء 2 / 2 D2

المواصفات:

- عدد خيوط السداء: 2
- عدد خيوط اللحمة: 4
- عرض الخيط: 1.0 مم
- ارتفاع الخيط: 0.3 مم
- المسافة بين الخيوط: 1.2 مم
- سمك النسيج: 0.6 مم
- عدد الطبقات: طبقة واحدة.



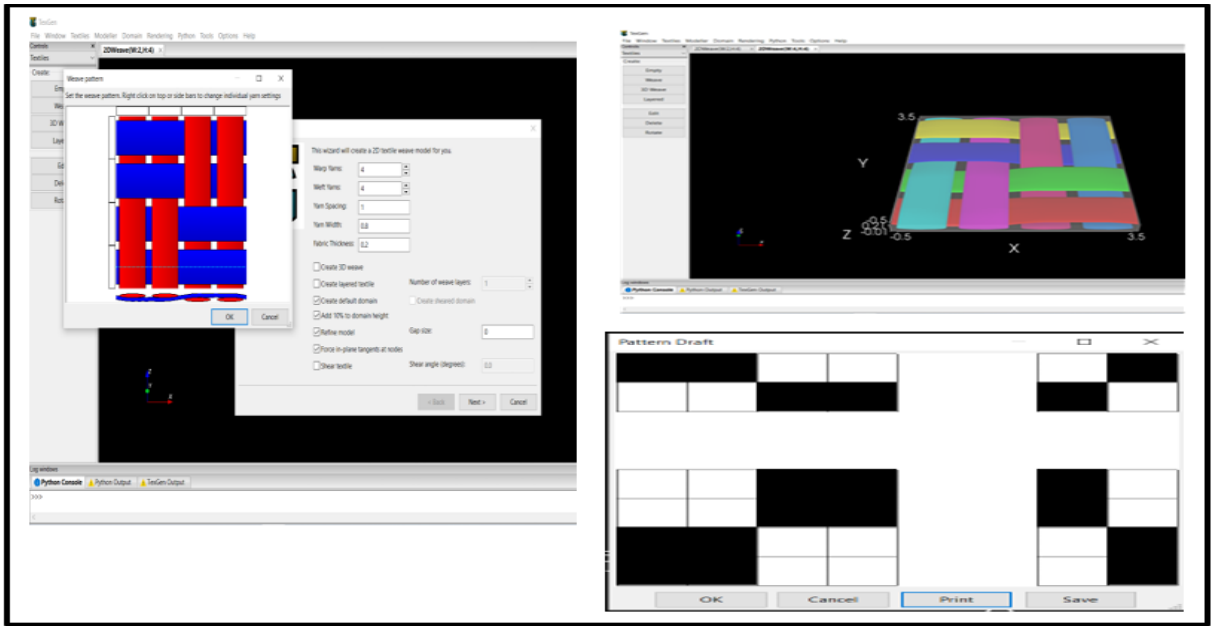
شكل (2) نموذج محاكاة النسيج السادة الممتد في اتجاه السداء 2/2 D2 تم إعداد النموذج في TexGen

- **محاكاة النسيج السادة الممتد في كلا الاتجاهين 2/ 2 :**

شكل (3) يوضح نموذج النسيج السادة الممتد في كلا الاتجاهين 2/ 2 D2

المواصفات:

- عدد خيوط السداء: 4
- عدد خيوط اللحمة: 4
- عرض الخيط: 1.0 مم
- ارتفاع الخيط: 0.3 مم
- المسافة بين الخيوط: 1.2 مم
- سمك النسيج: 0.6 مم
- عدد الطبقات: طبقة واحدة.



شكل (3) نموذج محاكاة النسيج السادة الممتد في كلا الاتجاهين 2/2 D2 تم إعداد النموذج في TexGen

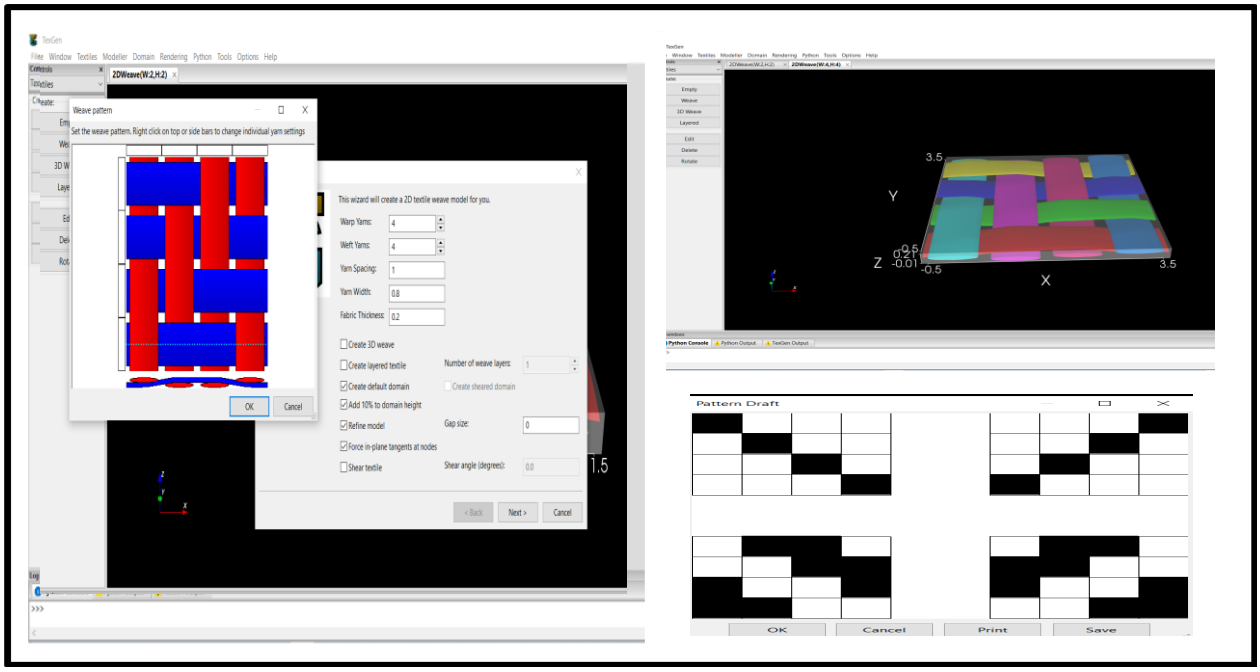
محاكاة النسيج المبرد 2/2 :

الشكل (4) يوضح نموذج نسيج مبرد 2 / 2 D2

محاكاة نسيج مبرد 2/2 (Twill 2/2)

المواصفات:

- عدد خيوط السداء: 4
- عدد خيوط اللحمة: 4
- عرض الخيط: 1.0 مم
- ارتفاع الخيط: 0.3 مم
- المسافة بين الخيوط: 1.2 مم
- سمك النسيج: 0.6 مم
- عدد الطبقات: طبقة واحدة.



الشكل (4) نموذج المحاكاة للنسيج المبرد 2/2 D2 تم إعداد النموذج في TexGen

- **محاكاة النسيج المتعدد الطبقات:**

الشكل رقم (5) يوضح نموذج نسيج متعدد الطبقات D3 ويتضح الطرق المتعددة للربط المتوفرة بالبرنامج.

محاكاة نسيج متعدد الطبقات (Multilayer Textile) ويعتبر مستوى عالي من النمذجة لأنه يُستخدم في التطبيقات الهيكلية المعقدة مثل المواد المركبة ثلاثية الأبعاد (3D woven composites).

المواصفات لنموذج نسيج سادة متعدد الطبقات (مثلاً طبقتين أو ثلاث طبقات) باستخدام TexGen،

•نمط النسيج: سادة 1/1

•عدد الطبقات: 2 أو أكثر (نحددها حسب التصميم)

•الاتجاهات: سداء + لحمة + طبقات رأسية بينية (يمكن استخدام خيوط Z - خيوط الربط العمودي)

•تحديد الهدف: تحليل السلوك الميكانيكي مثل المقاومة للضغط أو الانثناء .

• عدد خيوط السداء 4 لكل طبقة

•عدد خيوط اللحمة 4 لكل طبقة

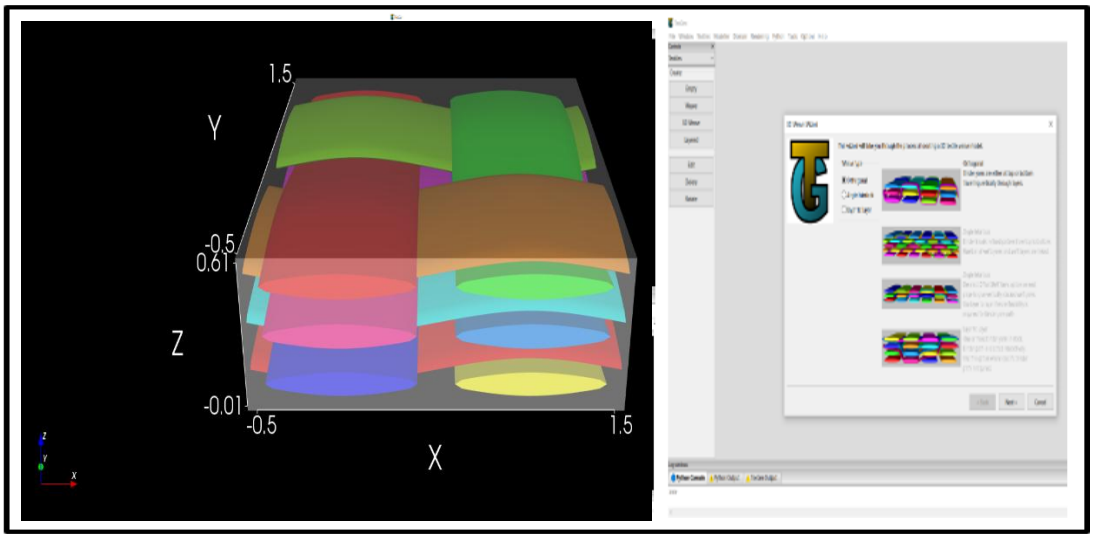
•عرض الخيط 1.0 مم

•سمك الخيط: 0.3مم

•المسافة بين الخيوط:1.2

•التباعد بين الطبقات:0.6

•اجمالي السمك = عدد الطبقات × 0.6 مم



الشكل (5) نموذج المحاكاة D3 بطرق ربط مختلفة تم إعداد النموذج في TexGen.

المنهجية العلمية لتقييم فاعلية برنامجTexGen :

تم تقييم فاعلية برنامج المحاكاة الرقمية باستخدام أربعة معايير رئيسية تمثل معايير التقييم (المتغيرات الكمية) هي:

- دقة النموذج (يحاكي البنية النسجية بدقة عالية مع نتائج قريبة من التجارب المعملية)
- إمكانية تخصيص مدخلات النموذج
- التكامل مع أدوات التحليل
- كفاءة واجهة المستخدم وسهولة الاستخدام

جمع البيانات بإستخدام استبيان موجه لخمسة مختصين أكاديميين في الملابس والنسيج والنمذجة الرقمية،مستخدمين مقياس ليكرت الخماسي لتحديد مدى اتفاق أو اختلاف المختصين حول كل معيار(1= ضعيف جداً، 5 = ممتاز)، كما تم تحليل البيانات باستخدام التحليل الاحصائي (المتوسط الحسابي- الانحراف المعياري- النسبة المئوية) ، وكانت النتائج كالتالي موضحة بالجدول (1).

جدول 1: نتائج استبانات المتخصصين لتقييم فاعلية برنامج المحاكاة الرقمي للأقمشة المنسوجة TexGen

المعيار	المتخصصين في مجال الملابس والنسيج						الانحراف المعياري	النسبة المئوية
	1	2	3	4	5	المتوسط الحسابي		
دقة النموذج	5	4	5	4	4	4.6	0.24	%92
إمكانية تخصيص مدخلات النموذج	4	5	5	4	4	4.4	0.49	%88
التكامل مع أدوات التحليل	4	4	5	4	4	4.2	0.58	%84
كفاءة واجهة المستخدم وسهولة الاستخدام	4	4	3	4	4	3.8	0.75	%76
المتوسط العام للفاعلية	-	-	-	-	-	4.25	0.51	%85

حصل البرنامج على أعلى تقييم في دقة النموذج الهندسي، مما يعكس موثوقية TexGen في توليد تمثيلات واقعية للنسيج، سجل تقييم كفاءة واجهة المستخدم أدنى قيمة نسبياً، ما يشير إلى الحاجة لتبسيط بيئة الاستخدام للمصممين غير المتخصصين في البرمجيات.النتائج الكمية متوافقة مع ما ورد في الأدبيات مثل (Zhang et al., 2012; Sherburn, 2007)، حيث أُكدت دقة النماذج وقابلية التصدير، مقابل تعقيد نسبي في واجهة الاستخدام

- **مقارنة نتائج تقييم فاعلية برنامج المحاكاة الرقمي للأقمشة المنسوجة TexGen للمعايير ونتائج الدراسات السابقة:**

من خلال الجدول (2) نجد نتائج المقارنة بين معايير فاعلية برنامج المحاكاة الرقمي للأقمشة المنسوجة TexGen وبين نتائج الدراسات السابقة Zhang, et al (2012), Niemeth, et al (2010), Sherburn, M. (2007), Long,et al(2009)

جدول2: نتائج المقارنة بين معايير فاعلية برنامج المحاكاة الرقمي للأقمشة المنسوجة TexGen وبين نتائج الدراسات السابقة

المعيار	نتائج البحث الحالي	Zhang et al (2012)	Niemeth, et al (2010)	Long,et al (2009)	Sherburn, M. (2007)
دقة النموذج	4.6 /5 %92	4.7 (تقديري)	-	4.6 (تقديري)	4.5 (تقديري)
إمكانية تخصيص مدخلات النموذج	4.4 /5 %88	4.5 (تقديري)	-	4.4 (تقديري)	4.3 (تقديري)
التكامل والمرونة	4.2 /5 %84	4.4 (تقديري)	4.5 (تقديري)	4.3 (تقديري)	4.0 (تقديري)
كفاءة واجهة المستخدم وسهولة الاستخدام	3.8/5 %76	3.6 (تقديري)	-	3.7 (تقديري)	3.5 (تقديري)

من خلال جدول (2) نجد أن التقديرات الرقمية للدراسات السابقة مستنبطة من تحليل المحتوى النوعي، حيث لم تقدم الدراسات السابقة Niemeth et al., 2010 ؛ Long et al., 2009؛ Sherburn, 2007؛ Zhang et al., 2012 قيماً كمية ، بل أوصافاً نوعية تم تحويلها إلى أرقام تقريبية لغايات المقارنة، لذا تم تطبيق منهجية تحليل المحتوى النوعي لتحويل التقييمات الوصفية إلى تقديرات رقمية استرشادية، بما ينسجم مع ممارسات المراجعة المنهجية الحديثة ويُسهل إجراء مقارنة دقيقة بين النتائج الحالية ولدراسات السابقة، فلقد وصف Sherburn (2007) واجهة المستخدم بأنها تتطلب معرفة تقنية عالية وتدريب مسبق، ما يُقدّر بتقييم يقارب 3.5 من 5. بينما أكدت دراسة Zhang et al. (2012) أن TexGen يقدم نماذج دقيقة، ما يعكس تقييماً تقريبياً مرتفعاً يتراوح بين 4.4 إلى 4.7 من 5. وتمت هذه التحويلات بناءً على مؤشرات لغوية وصفية وتحليلات ضمنية للنتائج الفنية.

- الفصل الرابع: النتائج والاستنتاجات

النتائج

من خلال النماذج التي تم إعدادها في البحث وتقييم فاعلية برنامج المحاكاة الرقمي للأقمشة المنسوجة TexGen توصلنا لمايلي:

- أن TexGen قادر على تمثيل التراكيب النسيجية بدقة عالية، ولكن تعتمد على إعدادات التصميم وجودة البيانات المدخلة لذلك يصعب استخدامه لغير المتخصصين.
- أن استخدام TexGen يدعم ممارسات التصميم المستدام وتقليل الحاجة إلى النماذج المادية، مما يعزز الكفاءة البيئية والاقتصادية في صناعة النسيج ، ويعتبر بديلاً للطرق التقليدية التي تحتاج للوقت والجهد.
- من خلال تقييم الفاعلية لبرنامج المحاكاة الرقمية للأقمشة المنسوجة TexGen كمياً في هذا البحث ، وتمت مقارنة النتائج الكمية للبحث الحالي مع نتائج الدراسات السابقة التي اعتمدت على التحليل النوعي لبرنامجTexGen (التقديرات الرقمية للدراسات السابقة مستنبطة من تحليل المحتوى النوعي، حيث لم تقدم هذه الدراسات قيماً رقمية صريحة، بل أوصافاً نوعية تم تحويلها إلى أرقام تقريبية لغايات المقارنة، باستخدام مقياس رقمي موحد، بما ينسجم مع ممارسات المراجعة المنهجية الحديثة ويُسهل إجراء مقارنة دقيقة بين النتائج الحالية والدراسات السابقة). ومنها نجد أنه حصل معيار دقة النموذج وتخصيص المدخلات على مابين 4.6 و4.7، بينما تمثل واجهة المستخدم التحدي الأبرز الذي يتطلب تحسيناً لتسهيل الاستخدام من قبل غير المتخصصين في البرمجة أو المحاكاة الرقمية فقد حصلت على3.5 و3.8 ،ولقد أثبت برنامج TexGeN بأنه أداة فعالة في التحليل فلقد حصل على 4.0 و4.5، لكن دقته تعتمد على المدخلات وتكامله مع برامج أخرى للتحليل.

الاستنتاجات

- برنامج TexGen أداة فعالة جداً في مجال تصميم وتحليل المنسوجات، خاصة في البيئات البحثية والهندسية. يوفر البرنامج إمكانات متقدمة لمحاكاة خصائص النسيج، ويُمكن اعتباره خياراً مثالياً لتقليل التكاليف، وتحسين الجودة، ودعم تطوير منسوجات جديدة بتكلفة مخفضة وفاعلية عالية ويدعم الاستدامة البيئية.
- يُسهم في التنبؤ بسلوك الأقمشة التقنية مثل الأقمشة الواقية أو النسيج المركب المستخدم في التطبيقات الصناعية والطبية.
- تُعد المحاكاة الرقمية بديلًا موثوقًا للاختبارات المخبرية في حالات متعددة، وتُستخدم كذلك في التحقق من تأثير التعديلات التصميمية على البنية والأداء قبل تنفيذها فعلياً.

التوصيات

- تحسين واجهة المستخدم: يُوصى بتطوير واجهة البرنامج لتكون أكثر سهولة وتفاعلية، مما يتيح استخدامه من قبل فئات أوسع من المصممين والمطورين
- تحسين تكامل TexGen مع برامج المحاكاة العددية المتقدمة لتوفير تحليل أكثر شمولًا.
- اعتماد TexGen في التعليم والتدريب: كأداة تعليمية لتعزيز فهم الطلاب لهيكلية الأقمشة والتصميم الهندسي، دعماً للاستدامة البيئية.
- إجراء دراسات مقارنة أوسع: تشمل برامج أخرى للمحاكاة الرقمية لتحديد الفروق النوعية وتوجيه التطوير المستقبلي.
- تعزيز التكامل مع بيانات الإنتاج: لجعل النماذج الرقمية قابلة للربط مع عمليات التصنيع الفعلي
- إضافة تأثيرات التصنيع إلى المحاكاة لتعزيز دقة التنبؤ بسلوك الأقمشة في الظروف الواقعية.
- إجراء دراسات مقارنة مع أنواع أخرى من تقنيات المحاكاة الرقمية لتحديد الميزات والعيوب بشكل أفضل.

Conclusions

1. TexGen is a highly effective tool for textile design and analysis, especially in research and engineering settings. It offers advanced capabilities for simulating fabric properties and can be considered an ideal option for reducing costs, improving quality, and supporting the development of new textiles with reduced costs, high efficiency, and environmental sustainability.
2. It contributes to predicting the behavior of technical fabrics, such as protective fabrics or composite fabrics used in industrial and medical applications.
3. Digital simulation is a reliable alternative to laboratory testing in many cases and is also used to verify the impact of design modifications on structure and performance before actual implementation.

References:

1. Banks, J, Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2013). Discrete-event system simulation (5th ed.). Pearson Education.
2. Casetta M, Koncar V, Cazé C. (2001). Mathematical Modeling of the Diffusion Coefficient for Disperse Dyes. Textile Research Journal.;71(4):357-361. doi:10.1177/004051750107100413.
3. Chen, H., & Zhang, Z. (2020). Digital transformation in the fashion industry: Sustainable practices in fast fashion through digital design technologies. Fashion and Sustainability, 3(1), 45–60 .
4. Chen, L., et al. (2018). "Mechanical modeling of woven fabrics using finite element analysis." Journal of Materials Science, 53(12), 8765-8778. https://doi.org/10.1007/s10853-018-2134-6
5. Dixit, A., Mali, H.S.(2013) Modeling techniques for predicting the mechanical properties of woven-fabric textile composites: a Review. *Mech Compos Mater* **49**,. https://doi.org/10.1007/s11029-013-9316-8
6. Glogar, M., Petrak, S., & Mahnić Naglić, M. (2025). Digital Technologies in the Sustainable Design and Development of Textiles and Clothing—A Literature Review. *Sustainability*, *17*(4), 1371. https://doi.org/10.3390/su17041371
7. Gupta, A., et al. (2019). "Mathematical modeling of fabric cutting processes." International Journal of Clothing Science and Technology, 31(2), 234-247. https://doi.org/10.1108/IJCST-03-2018-0034
8. Henry, B. K., Russell, S. J., Ledgard, S. F., Gollnow, S., Wiedemann, S. G., Nebel, B., & Swan, P. (2015). LCA of wool textiles and clothing. In *Handbook of life cycle assessment (LCA) of textiles and clothing* (pp. 217-254). Woodhead Publishing.
9. Humphrey, J. D. (2003). "Continuum biomechanics of soft biological tissues." Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 459(2029), 3-46. https://doi.org/10.1098/rspa.2002.1060
10. Hunter, P. J., et al. (2010). "Modeling the human heart: from genes to cells to the whole organ." Science, 330(6006), 1678-1682. https://doi.org/10.1126/science.1190929
11. Krzywanski, J., Sosnowski, M., Grabowska, K., Zylka, A., Lasek, L., & Kijo-Kleczkowska, A. (2024). Advanced Computational Methods for Modeling, Prediction and Optimization—A Review. Materials, 17(14), 3521. https://doi.org/10.3390/ma17143521
12. Lamsfuss, J., & Bargmann, S. (2022). Computational modeling of damage in the hierarchical microstructure of skeletal muscles. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, *134*, 105386.
13. Law, A. M. (2015). Simulation Modeling and Analysis. McGraw-Hill.
14. Lin, H., Zeng, X., Sherburn, M., Long, A., & Clifford, M. (2021). Digital twin for textile materials: A review. Advanced Materials Technologies, 6(3), 2000895. https://doi.org/10.1002/admt.202000895
15. Long, A. C., Ivanov, D. S., & Sherburn, M. (2009). Characterisation and modelling of complex textile geometries using TexGen. University of Nottingham Repository. https://nottingham-repository.worktribe.com/output/937166
16. Muthu, S. S., & Gardetti, M. A. (2022). Sustainability in the Textile and Apparel Industries. Springer.
17. Ng, R. W. M., & Wang, L. (2019). 3D garment simulation and its applications in fashion design: A review. Computers in Industry, 109, 182–196. https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.005
18. Niemeth, N. N., Mittal, S., & LaManna, J. (2010). Evaluation of solid modeling software for finite element analysis of woven ceramic matrix composites (NASA/TM-2010-216824). NASA Glenn Research Center. https://ntrs.nasa.gov/citations/20100025846
19. Orlik, J., Krier, M., Neusius, D., Pietsch, K., Sivak, O., & Steiner, K. (2021). Recent Efforts in Modeling and Simulation of Textiles. *Textiles*, *1*(2), 322-336. https://doi.org/10.3390/textiles1020016
20. Ravichandran, A., Clegg, J., Adams, M. N., Hampson, M., Fielding, A., & Bray, L. J. (2021). 3D Breast Tumor Models for Radiobiology Applications. *Cancers*, *13*(22), 5714. https://doi.org/10.3390/cancers13225714
21. Sherburn, M. (2007). Geometric and mechanical modeling of textiles (Doctoral dissertation, University of Nottingham). https://eprints.nottingham.ac.uk/id/eprint/10303.
22. Sherburn, M. (2007). Geometric and mechanical modelling of textiles (Doctoral dissertation, University of Nottingham). ePrints Nottingham. https://eprints.nottingham.ac.uk/10303/
23. Umair, M., Javaid, M.U., Nawab, Y., Jabbar, M., Riaz, S., Abid, H.A. and Shaker, K. (2023), "Thermal properties of woven fabric as a function of its structural parameters: experimentation and modeling",

Research Journal of Textile and Apparel, Vol. 27 No. 4, pp. 516-529. https://doi.org/10.1108/RJTA-10-2021-0123

24. Wang, Y., & Sun, X. (2001). Digital-element simulation of textile processes. *Composites science and technology*, *61*(2), 311-319.
25. Wang, Y., & Sun, X. (2001). Digital-element simulation of textile processes. Composites Science and Technology, 61(2), 311–319. https://doi.org/10.1016/S0266-3538(00)00223-2
26. Zhang, X., Long, A. C., Sherburn, M., & Clifford, M. J. (2012). Automated geometric modelling of textile structures. Textile Research Journal, 82(5), 492–501. https://doi.org/10.1177/0040517511418562