ستائر ذكية بتقنية الطباعة رباعية الأبعاد لحماية ذوى الإحتياجات الخاصة من إختلاف درجات الحرارة

Smart curtains using 4D printing technology to protect people Special needs due to temperature differences

د/ سارة إبراهيم عبد الرحمن رمضان

مدرس بقسم الإعلان والطباعة والنشر، كلية الفنون التطبيقية - جامعة بنها، bu.sara.ramadan@gmail.com

د/ مروة عبد الرحمن أحمد عبد الرحمن

مدرس بقسم المنتجات المعدنية والحلى، كلية الفنون التطبيقية - جامعة بنها

ملخص البحث: Abstract

يطلق مصطلح الطباعة رباعية الابعاد (4D printing) على الطباعة ثلاثية الأبعاد للمواد الذكية التي تستشعر المحفزات الخارجية (مثل الحرارة والرطوبة والمجالات الكهربائية/المغناطيسية ودرجة الحموضة) حيث يعتبر البعد الرابع هو الزمن. فى هذه الحالة، لم تعد المجسمات المطبوعة ثلاثية الأبعاد ثابتة؛ بل يمكن أن تتغير أشكالها أو وظائفها بمرور الوقت.

يلى مرحلة الطباعة ثلاثية الأبعاد للمواد الذكية خطوة تحويل الشكل بمحفزات، حيث إنشاء أشكال أكثر تعقيدًا مما هو ممكن باستخدام الطباعة ثلاثية الأبعاد التقليدية. ومع ذلك فالطباعة رباعية الأبعاد فعالة من حيث التكلفة ومن حيث الوقت بسبب المرونة الهندسية للأعمال السابقة.

وتعتبر خامات الطباعة رباعية الأبعاد ذكية حيث أنها تستجيب لفعل المحفزات كذلك تحديد آلية التفاعل بتحديد الوقت المطلوب لتطبيق الحافز ثم النمذجة الرياضية من أجل تصميم توزيع المواد والبنية اللازمة لتحقيق التغيير المطلوب في الشكل أو الخاصية أو الوظيفة مما أدى لتنوع تطبيقات الطباعة رباعية الأبعاد لتشمل التجميع الذاتي والوظائف المتعددة والإصلاح الذاتي فى إطار الحفاظ على الإستدامة بما فى ذلك مساعدة الأشخاص ذوي الإعاقة الصحية بسبب ارتفاع درجات الحرارة المحيطة مما يؤثر سلبا على تكيفهم مع تغير درجات الحرارة الذى لا يتناسب مع طبيعة مرضهم من هنا ساعدت الطباعة رباعية الأبعاد الجديدة القابلة للعكس (مزدوجة الإتجاه) فى عمل ستائر ذكية تعمل تلقائيا بمحفزات وفقًا للمحفزات البيئية (درجة الحرارة)، مما يسمح بتشغيل الأجزاء المطبوعة رباعية الأبعاد في دورات متعددة، وبالتالى إلغاء الحاجة إلى التدخل البشري بشكل كامل وذلك عن طريق تصنيعها من مواد ذكية ذات خصائص ذاكرة الشكل المتميزة والتوصيل الحراري الكبير.

كلمات دالة: Keywords

طباعة رباعية الأبعاد 4D printing، المواد الذكية smart materials، الستائر الذكية smart curtains، ذوى الإحتياجات الخاصة people with special needs

Paper received July 13, 2024, Accepted July 23, 2024, Published on line September 1, 2024

المقدمة: Introduction

يهدد تغير المناخ بشكل مباشر حق الأشخاص ذوي الإعاقة الصحية بسبب ارتفاع درجات الحرارة المحيطة، وزيادة التعرض للظواهر الجوية القاسية التي تشمل موجات الحر والفيضانات والأعاصير وحرائق الغابات. وترتبط درجات الحرارة القصوى بارتفاع عدد الزيارات إلى غرف الطوارئ، ودخول المستشفى، ووفيات الأفراد الذين يعانون من إعاقات في الصحة العقلية والقلبية التنفسية وغيرها من الإعاقات ؛ تؤدي الإعاقات النفسية الاجتماعية الموجودة مسبقًا إلى مضاعفة خطر الوفاة أثناء موجات الحر بمقدار ثلاثة أضعاف. وتؤثر درجات الحرارة المحيطة المرتفعة أيضًا سلبًا على صحة الأفراد الذين تتأثر إعاقاتهم بحساسية درجة الحرارة أو التنظيم الحراري.

ومن ثم كانت الحاجة لإستخدام تكنولوجيا الطباعة رباعية الأبعاد لبوليمرات ذاكرة الشكل (SMPs)، والسبائك ذاكرة الشكل (SMAs) حيث برمجة الهياكل المطبوعة لإجراء تغييرات في الشكل استجابة للعوامل البيئية لإنشاء كائنات ذكية وقابلة للتكيف يمكنها تغيير شكلها استجابة للمحفزات البيئية، مثل الحرارة. إن تطوير الطباعة رباعية الأبعاد القابلة للعكس (مزدوجة الإتجاه) باستخدام مواد قوية لتصنيع الستائر الذكية التي تعدل موضعها استجابة لأشعة الشمس مما يتيح حقبة جديدة من الابتكار والتخصيص لتناسب احتياجات المستخدمين النهائيين خاصة من هذا النوع من ذوى الإحتياجات الخاصة.

مشكلة البحث: Statement of the Problem

وبذلك تتلخص مشكلة البحث كما يلي :

1- هل يمكن ايجاد حلول تفاعلية لحماية ذوى الاحتياجات الخاصة من اضرار اشعة الشمس فى ضوء تكنولوجيا الطباعة رباعية الابعاد ؟

2- هل هناك وسيلة للتحكم بشكل مناسب فى التأثير السلبى لإرتفاع درجات الحرارة المحيطة على صحة الأفراد الذين تتأثر إعاقاتهم بحساسية درجة الحرارة أو التنظيم الحراري؟

أهداف البحث: Research Objectives

1- طباعة هياكل ديناميكية (ستائر ذكية) بأشكال وخصائص أو وظائف قابلة للتعديل بشكل يتناسب مع إحتياجات الأشخاص ذوي الإعاقة صحيا بسبب ارتفاع درجات الحرارة المحيطة.

2- توظيف المطبوعات رباعية الأبعاد فى تحقيق وظائف معينة مفيدة للإنسان حسب درجة تكيفها مع الظروف البيئية المحيطة (درجة حرارة ، ضوء ....).

3- ايجاد حلول مستحدثة تلائم متطلبات ذوى الاحتياجات الخاصة دون الحاجة للتدخل البشرى

4- إلغاء الحاجة إلى التدخل البشري بشكل كامل مما أدى لتحقيق سهولة الإستخدام .

أهمية البحث: Research Significance

1- مساعدة ذوى الإحتياجات الخاصة التى تتأثر صحتهم بأى إختلاف فى درجات الحرارة ؛ خاصة أصحاب الإعاقات النفسية الاجتماعية حيث يتضاعف خطر الوفاة أثناء موجات الحر بمقدار ثلاثة أضعاف عن درجات الحرارة الإعتيادية.

2- الإستخدام الأمثل للمواد الذكية لطباعة منتجات ذات خصائص ميكانيكية ملائمة لإستخدامها حيث يعتبر ذلك مؤشرا هاما على فاعلية المطبوعات رباعية الأبعاد فى الأداء الوظيفى المنوطة به مما يحقق كفاءة أفضل وملائمة أعلى لتلبية احتياجات المستهلكين فى المجتمع بما يساعدهم فى شتى مجالات الحياة .

منهج البحث: Research Methodology

تتبع الدراسة المنهج الوصفي التحليلى لأنواع المواد الذكية بشكل عام وطرق الطباعة رباعية الأبعاد وكيفية إستخدامها بشكل إيجابى فى خدمة ذوى الإحتياجات الخاصة ممن تتأثر ظروفهم الصحية بإختلافات درجة الحرارة المحيطة بهم .

الإطار النظري: Theoretical Framework

يتضمن توصيف عام للطباعة رباعية الأبعاد والمواد الذكية المستخدمة ودور الطباعة رباعية الأبعاد فى الحفاظ على الإستدامة وتوظيفها لمراعاة ذوى الإحتياجات الخاصة بخاصة الذين تتأثر أمراضهم بتغيرات درجات الحرارة من خلال المواد الذكية المستخدمة فى الطباعة بعمل ستائر ذكية تغلق وتفتح ذاتيا وفقا لتغيرات درجة حرارة الشمس دون أى تدخل بشرى.

الإطار التطبيقى:

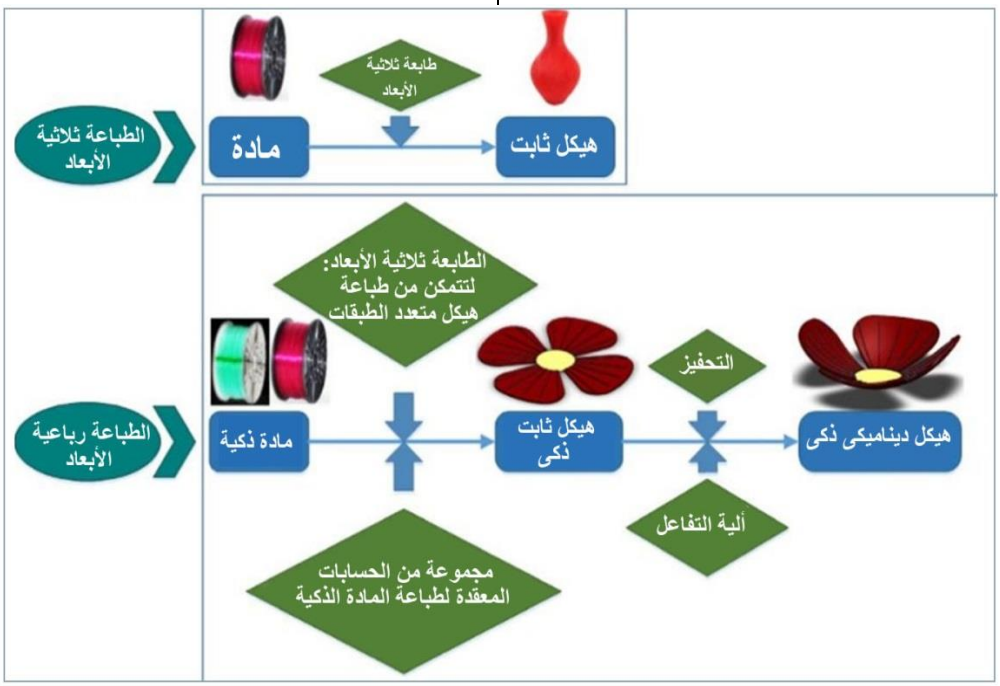
مجموعة من التصميمات المقترحة لمحاكاة ميكانيكية عمل ستارة ذكية تغلق وتفتح وفقا لتغيرات درجة الحرارة بما يحافظ على حماية المرضى من التغيرات المختلفة خلال ساعات النهار وبالتالى حماية المرضى من ذوى الأمراض المتأثرة بإختلاف درجات الحرارة خلال اليوم

موضوع البحث:

أولا: المحور النظرى:

الطباعة رباعية الأبعاد:

تعد الطباعة رباعية الأبعاد شكلاً متقدمًا من أشكال التصنيع الإضافي الذي يتضمن إنشاء مجسمات بمواد ذكية يمكنها تغيير شكلها وخصائصها بمرور الوقت. ويشير "البعد الرابع" في الطباعة رباعية الأبعاد إلى قدرة الجسم المطبوع على تغيير شكله أو وظيفته استجابة للمحفزات الخارجية، مثل درجة الحرارة أو الضوء أو الرطوبة. تم بناء هذه التقنية على أساس الطباعة ثلاثية الأبعاد، ولكنها تأخذها خطوة أخرى إلى الأمام من خلال دمج المواد الذكية والتصميمات سريعة الاستجابة يمكن للطباعة رباعية الأبعاد تصنيع هياكل ديناميكية بأشكال أو خصائص أو وظائف قابلة للتعديل وتعتمد هذه القدرة بشكل أساسي على مزيج مناسب من المواد الذكية في الطباعة ثلاثية الأبعاد. النمذجة الرياضية مطلوبة لتصميم توزيع مواد متعددة في المطبوع ثلاثى الأبعاد. هناك حالتان مستقرتان على الأقل في الهيكل المطبوع رباعي الأبعاد، ويمكن للهيكل أن ينتقل من حالة إلى أخرى تحت الحافز المؤثر. يتم توضيح الاختلافات الرئيسية بين الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية الأبعاد في الشكل (1) . (Farhang Momeni Al, 2017)



شكل (1) يوضح الفرق بين الطباعة ثلاثية ورباعية الأبعاد

الفرق الأساسي بين الطباعة رباعية الأبعاد وثلاثية الأبعاد هو استخدام المواد الذكية في الطباعة رباعية الأبعاد، مما يسمح بإنشاء كائنات قادرة على تحويل الشكل والتكيف مع بيئتها. يمكن أن تؤدي هذه الوظيفة المضافة إلى زيادة الكفاءة والتخصيص، ولكنها قد تؤدي أيضًا إلى ارتفاع التكاليف والتعقيد. (Ankur Bajpai Al, 2020)

يسلط الجدول التالي الضوء على الاختلافات الرئيسية بين الطباعة ثلاثية الأبعاد والطباعة رباعية الأبعاد، بما في ذلك المواد والوظائف والتعقيد والتكلفة والتخصيص والاستدامة. يوضح جدول (1) الفرق بين الطباعة ثلاثية ورباعية الأبعاد.

وجه المقارنة	الطباعة ثلاثية الأبعاد	الطباعة رباعية الأبعاد
ميكانيكية الطبع	يتكون الهيكل من طبقات متتابعة من مادة ثنائية الأبعاد	امتداد للطباعة ثلاثية الأبعاد ولكن مع خطوة برمجة ذاكرة الشكل
الخامات	مواد غير عضوية: • اللدائن الحرارية، السيراميك، • المعادن غير الحديدية وصناعة أجزاء من السبائك الخاصة بها . • المركبات والسوائل النانوية.	المواد الذكية المتغيرة الخصائص وفقا للظروف البيئية المحيطة ومنها : البوليمرات ذات ذاكرة الشكل (SMP)، والسبائك ذات ذاكرة الشكل (SMA)، والمركبات الهيدروجيلية، والمواد الحيوية.
مرونة الشكل	إنشاء هيكل جامد	خصائص التغير الهيكلي عند التعرض للمحفز الخارجي
برمجة ذاكرة الشكل	لا توجد خطوة البرمجة	التدريب على الميكانيكا الحرارية، والطباعة متعددة المواد لخلق الضغوط التفاضلية

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

وجه المقارنة	الطباعة ثلاثية الأبعاد	الطباعة رباعية الأبعاد
التطبيقات	الطب والهندسة وطب الأسنان والسيارات والروبوتات والأزياء والفضاء والدفاع وما إلى ذلك.	يضيف عنصر ديناميكي لجميع تطبيقات الطباعة ثلاثية الأبعاد.
تغير الهيكل	شكل ثابت	ديناميكي، يمكن أن يتغير شكله أو خصائصه بمرور الوقت.
التعقيد	بسيطة نسبيا في التصميم والتصنيع	أكثر تعقيدًا، وتتطلب معرفة متقدمة بالمواد
التكاليف	أدنى	أعلى،وذلك بسبب المواد والعمليات المتخصصة
التخصيص	عالية، ولكنها تقتصر على الخصائص الثابتة	عالية للغاية، مع خصائص وسلوكيات ديناميكية.
الاستدامة	يختلف حسب اختيار المواد	إمكانية تحقيق استدامة أكبر باستخدام مواد صديقة للبيئة.

جدول (1) لتوضيح الفرق بين الطباعة ثلاثية ورباعية الأبعاد Reddy Sreenivasulu, 2021

ولابد من استيفاء ثلاثة جوانب رئيسية حتى تتم الطباعة رباعية الأبعاد:

1- استخدام المواد المركبة المستجيبة للمحفزات والتي يتم مزجها أو دمج مواد متعددة ذات خصائص مختلفة بحيث يتم وضعها طبقة فوق طبقة.
2- المحفزات التي تؤثر على المطبوع مما يؤدي إلى تحريكه. ومن أمثلة هذه المحفزات التدفئة والتبريد والجاذبية والأشعة فوق البنفسجية والطاقة المغناطيسية والرياح والماء أو حتى الرطوبة.
3- الوقت المناسب لحدوث المحاكاة، والنتيجة النهائية هي تغيير حالة المطبوع.(Xue Wan Al, 2020)

العناصر الأساسية للطباعة رباعية الأبعاد:

إنشاء مطبوع رباعي الأبعاد من خلال الجمع بين عدة مواد في التوزيع المناسب في هيكل واحد مطبوع. الاختلافات في خصائص المواد مثل (نسبة زيادة الحجم ، معامل التمدد الحراري) ستؤدي إلى سلوك تغيير الشكل المطلوب. ولذلك، فإن الطباعة ثلاثية الأبعاد ضرورية لتصنيع هياكل متعددة المواد ذات هندسة بسيطة.
تقوم الطباعة رباعية الأبعاد على مجموعه من العوامل الأساسية التى لا تقوم الطباعة رباعية الأبعاد بدونها موضحة فى المخطط شكل (2).

شكل (2) يوضح العناصر الأساسية للطباعة رباعية الأبعاد

1- ماكينات الطباعة (التصنيع بالإضافة) AM processes :

يتم اختيار الطابعة بناءً على أنواع مختلفة من الطابعات الذكية المواد بحيث تركز الآليات على فهم عمليات التصميم المفصلي، التصميم الهندسي، وتصميم الأنماط. فهم هذه الآليات أمرًا بالغ الأهمية للهياكل الوظيفية للطباعة رباعية الأبعاد. ويتضمن ملف الشغلة الطباعية توقعًا تنبوئيا، والذي يحمل توقعات الشكل والوظيفة والتنبؤ بحدوث تشوهات فى الهيكل وكذلك تضاف النمذجة الرياضية ومهما كانت العملية المستخدمة في التصنيع، يتم ترسيب المادة الذكية طبقة بعد طبقة، مما يؤدي تدريجيًا إلى بناء الشكل النهائي ثلاثي الأبعاد للمجسم وبمجرد طباعة المجسم، يصبح جاهز للإستخدام ويكون جاهزًا لإجراء تحويل الشكل المبرمج أو أي تعديلات أخرى أثناء الإستخدام عند تعرضه للمحفز الخارجي المناسب.
(Kadri C. Atli Al, 2020)

تقنيات الطبع رباعية الأبعاد الأكثر شيوعا:

1- البلمرة الضوئية StereoLithograPhy (SLA) .
2- تلبيد الليزر الانتقائي (Selective Laser Sintering).
3- نمذجة الترسيب المنصهر (Fused Deposition Modeling) (FDM.
4- الترسيب بالطاقه المباشرة (Direct energy Deposition).
5- طباعة PolyJet المجسمه (PolyJet 3D printing technology).

بالنسبة لتقنية FDM هي تقنية طباعة ناجحة تم استخدامها على نطاق واسع في الصناعة مع سرعة طباعة سريعة نسبيًا. ولكنها ليست الأفضل للطباعة رباعيه الأبعاد حيث تختلف طرق التشغيل (مثل الحرارة والمجال الكهربائي والمجال المغناطيسي والضوء) وفقًا للإضافة من الحشوات الوظيفية في خيوط الطابعة. ومع ذلك، فإن دقة الطباعة منخفضة نسبيًا وعادةً ما يكلف إعداد خيوط الطباعة الكثير من هدر المواد بسبب خصائص آلات البثق. علاوة على ذلك، تعمل الطابعة FDM عن طريق إذابة خيوط الطابعة فوق درجة حرارة الانصهار، مما قد يتسبب في إبطال وتدهور المكونات الحساسة لدرجة الحرارة في خيوط الطابعة، وبالتالي الحد من تطبيقاتها النهائية حيث تتطلب فترة طويلة من الاستقرار.
على عكس SLA ، SLS تعيق الحشوات الوظيفية غير الشفافة امتصاص الضوء للراتنج القابل للمعالجة ضوئيًا أثناء الطباعة . ويوضح جدول (2) تقنية المعالجة ونوع الطباعة المناسب للخامة الذكية. (Ankur Bajpai Al ,2020)

2. المحفزات (stimuli):

لتحفيز تغييرات (الشكل/الخاصية/الوظيفة) للهيكل المطبوع رباعي الأبعاد. تشمل المحفزات التي استخدمها الباحثون في الطباعة رباعية الأبعاد حتى الآن الماء ، الحرارة ودمج الحرارة والضوء وجمع الماء والحرارة. ويعتمد اختيار المحفز على متطلبات التطبيق المحدد، والذي يحدد أيضًا أنواع المواد الذكية المستخدمة في الهيكل المطبوع رباعي الأبعاد.(Aamir Ahmed Al ,2021)

المواد المستجيبة للتحفيز:
تعد المواد المستجيبة للتحفيز أحد أهم مكونات الطباعة رباعية الأبعاد. يمكن تصنيف المواد المستجيبة للتحفيز إلى عدة فئات فرعية، كما هو مبين في جدول (3). ويتم تحديد قدرة هذه المجموعة من المواد من خلال الخصائص التالية: الاستشعار الذاتي ، والاستجابة، وذاكرة الشكل، والقدرة على التكيف الذاتي، تعددية الوظائف والإصلاح الذاتي. (Zhizhou Zhang Al,2019)

نوع الطباعة ثلاثية الأبعاد	تقنية المعالجة	المادة الذكية المستخدمة
البلمرة الضوئية Liquid solidification	1.تقنية الترسيب بالضوء (SLA)	SMPs Soybean oil SMCs
	2.تقنية المعالجة بالضوءالرقمي (DLP)	SMPs
تدفق المواد Material Extrusion	النمذجة بالراسب المنصهر (FDM)	SMPs
		SMCs
	تدفق الهلام المائى Hydrogel extrusion	SMCs
نفث المواد Material Jetting	طباعة PolyJet المجسمه	SMPs
		SMCs
تصلب الطبقات البودرية Powder solidification	صهرالليزرالإنتقائى (SLM)	SMPs
	تقنية التلبيد بالليزر الانتقائي (SLS)	SMCs

جدول (2) يوضح تقنية المعالجة ونوع الطباعة المناسب للخامة الذكية

3- آلية التفاعل Interaction mechanism:
في بعض الحالات، لا يتم تحقيق الشكل المرغوب للهيكل المطبوع رباعي الأبعاد بشكل مباشر بمجرد تعريض المواد الذكية للمحفز. يجب تطبيق الحافز في تسلسل معين خلال فترة زمنية مناسبة، وهو ما يشار إليه بآلية التفاعل. على سبيل المثال، إحدى آليات التفاعل الرئيسية هي الميكانيكا الحرارية المقيدة. في هذه الآلية، يكون الحافز هو الحرارة والمادة الذكية لها تأثير ذاكرة الشكل. ويتم ذلك على 4 خطوات:
أولاً : يتشوه الهيكل بسبب الحمل الخارجي عند درجة حرارة عالية
ثانياً : خفض درجة الحرارة مع الحفاظ على الحمل الخارجي.
ثالثًا : تفريغ الهيكل عند درجة حرارة منخفضة ويتم تحقيق الشكل المطلوب.
رابعا : يمكن استعادة الشكل الأصلي عن طريق إعادة تسخين الهيكل.

4- النمذجة الرياضية Mathematical modeling :
الرياضيات ضرورية للطباعة رباعية الأبعاد من أجل تصميم توزيع المواد والبنية اللازمة لتحقيق التغيير المطلوب في الشكل أو الخاصية أو الوظيفة. ويلزم تطوير النماذج النظرية والعددية لإقامة الروابط بين أربعة عناصر أساسية:
- بنية المادة - الشكل النهائي المطلوب
- خصائص المادة - خصائص التحفيز.

المادة الذكية	المحفز	الإستجابة	التطبيق
1- هلام بوليمرى	تغير درجة (PH)	الإنتفاخ (التورم)	العضلات الإصطناعية
2- السائل الكهربي الريولوجي	إشارة كهربائية	تغيير اللزوجة	تثبيط نظام التحكم فى الإلتواء
3- مادة كهروضوئية	درجة حرارة	إشارة كهربائية	جهاز استشعار الأفراد (فتح باب السوبر ماركت)
4- البوليمر (مثل السليلوز الرقيق والسيراميك)	تغير الرطوبة	تغييرالقدرة/ المقاومة	حساس الرطوبة
5- مواد اللحام الذاتي	قوة	قوة	هيكل الهاتف الذكي
6- سبائك معدنية ذكية	درجة حرارة	شكل	مشغلات المحركات
7- اللدائن العازلة	الجهد الكهربى	اجهاد، ضغط	الروبوتات
السيراميك (على سبيل المثال Ladoped BaTiO3).	النموذج (القالب)	مقاومة	الثرمستور/ حامي التيار الزائد
9- المكثف (على سبيل المثال Bidoped ZnO)	الجهد االكهربى	مقاومة	واقى الحركات القوية المفاجئة للأمام أو للأعلى، بواسطة قوة طبيعية مثل الأمواج أو المد والجزر
10- مادة كهروضغطية	التشوه/ الإجهاد	إشارة كهربائية	أجهزة التحكم النشط بالضوضاء وحساسية الضغط والاهتزازات

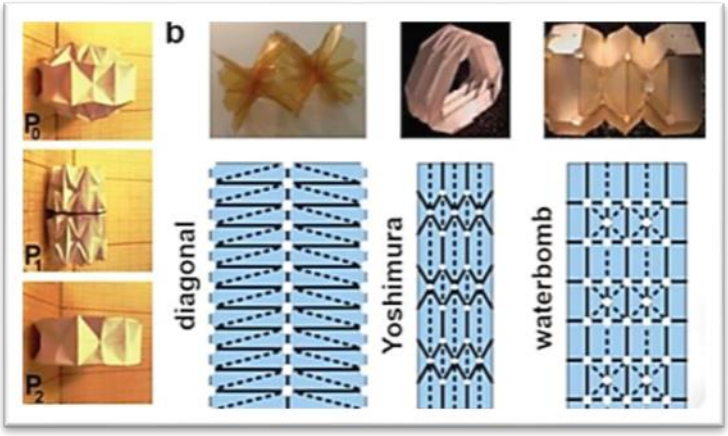
جدول (3) يوضح أنواع المواد الذكية المستخدمة فى الطباعة رباعية الأبعاد ومحفزاتها
(Nkosilathi Zinti Nkomo,2018)

5- المواد الذكية Smart Materials:
• خامات لها القدرة علي التأثر بالظروف واتخاذ ردود افعال مختلفة الاتجاهات حسب خصائصها .
• مواد لها خصائص تستطيع ان تغير شكلها وخصائصها نتيجة للتأثر بمؤثرات خارجية.
المواد الذكية تضيف وظائف مستحدثه تؤدي الي أنسنة المنتجات، وهذا من خلال ردود الفعل الذاتية التي تتخذها الخامات الذكيه لتوفرعلي الإنسان مجهودات اتخاذ القرار ، وبالتالي هذه الخامات ليست فقط لتحل محل الخامات التقليديه ولكن تحل محل نظم التحكم، وتنقسم المواد الذكيه الي انواع عديده تختلف الاستجابة لمحفزات المواد الذكية التي يتم استخدامها مثل بوليمرات المواد الذكية والهلاميات المائية واللدائن السائلة وفقا لنوع المادة وطبيعة حساسيتها لمحفز بيئى معين .(Antreas Kantaros Al, 2023)

أنواع المواد الذكية:

1- سبائك ذاكرة الشكل Shape Memory Alloys (SMAs).
نوع من المواد الذكية التي يمكن أن يتغير شكله عند تسخينه أو تبريده ويمكن أن يعود إلى حالته السابقة شكلها الأصلي عندما تتغير درجة الحرارة مرة أخرى كما موضح شكل (3)
وتتكون هذه السبائك من مزيج من المعادن مثل : النيكل والتيتانيوم أو الألومنيوم والنحاس والزنك، التي تظهر خاصية فريدة لذاكرة الشكل.

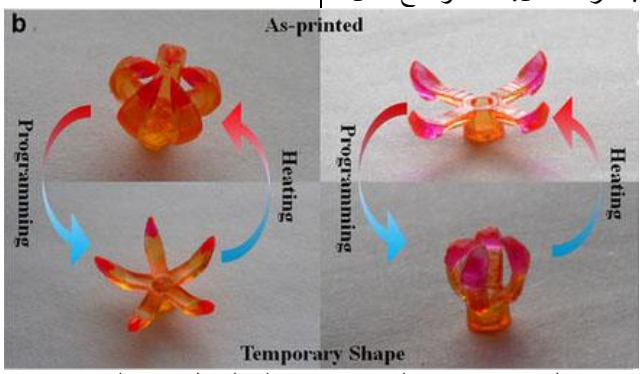
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



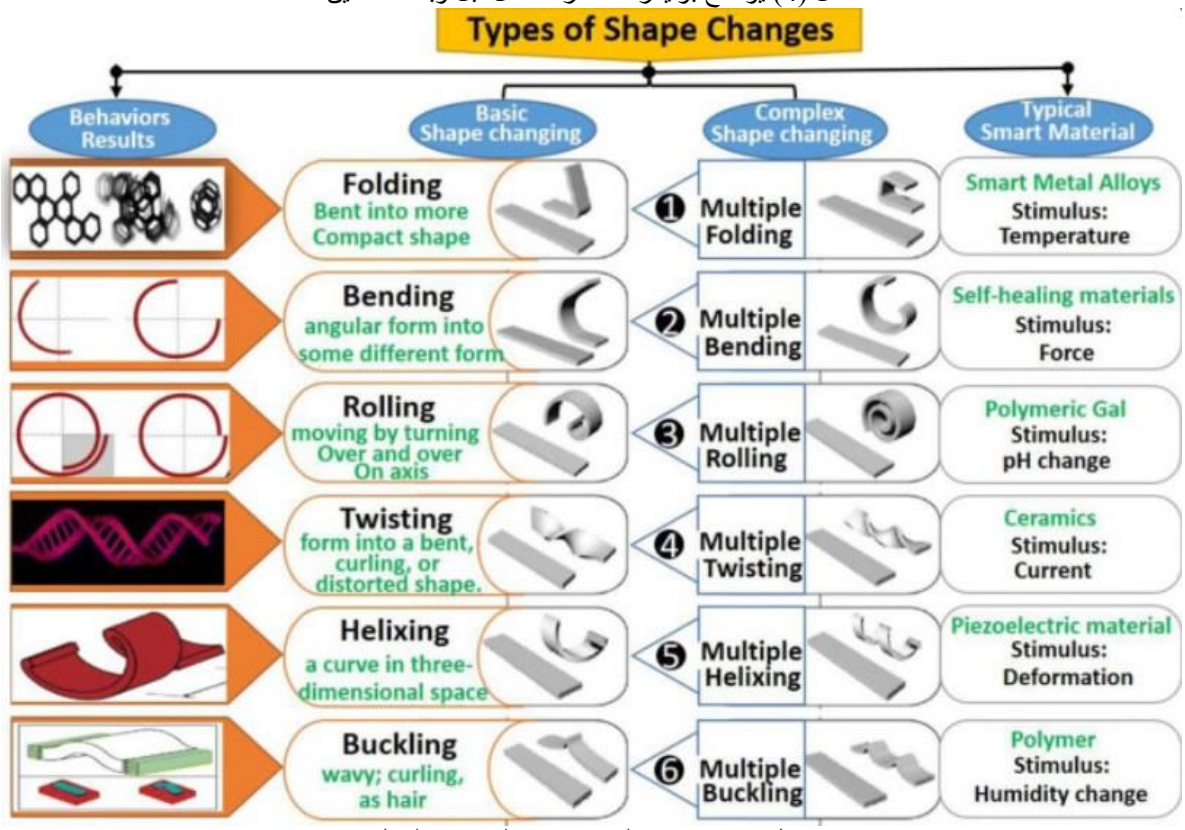
شكل (3) يوضح سبائك ذاكرة الشكل

2- بوليمرات ذاكرة الشكل Shape Memory (SMPs) Polymers:

نوع من المواد الذكية التي تظهر القدرة على تغيير الشكل استجابة للمؤثرات الخارجية، مثل درجة الحرارة أو الضوء أو الرقم الهيدروجيني أو الضغط. ويمكن تصميم البوليمرات لتعود إلى شكلها الأصلي بعد التشوه، وهو ما يعرف بذاكرة الشكل. كما موضح شكل (4) من أهم أنواعها البولي يوريثان حيث لديه استجابة حرارية جيدة ، وخصائص ميكانيكية ، وقابلية معالجة جيدة، مما يجعلها مناسبة لمختلف التطبيقات. كما يوضح شكل (5) بوليمرات وسبائك ذاكرة الشكل.

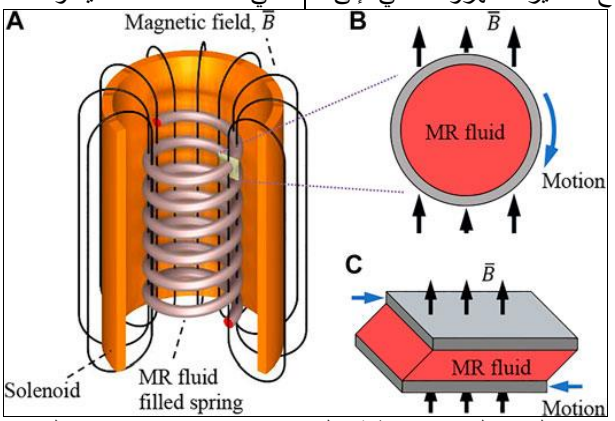


شكل (4) يوضح بوليمرات ذاكرة الشكل قبل وبعد التسخين



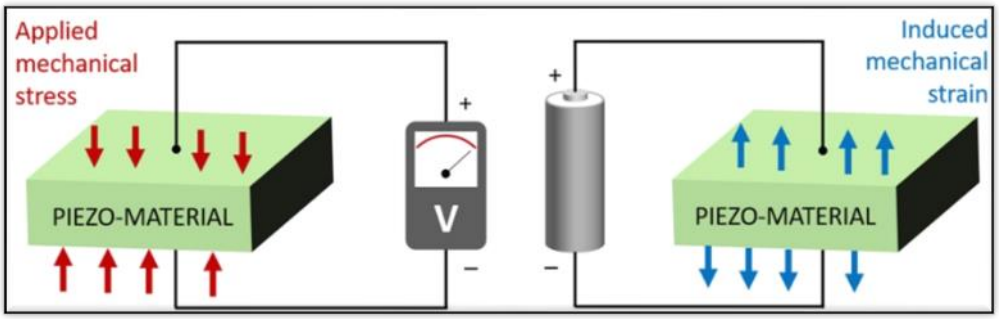
شكل (5) يوضح بوليمرات وسبائك ذاكرة الشكل

3- المواد الكهروضغطية (Piezoelectric materials):
لها القدرة على توليد تيار كهربائي عند التعرض للإجهاد الميكانيكي وأيضا يمكن أن يتغير شكله عندما يتم تطبيق التيار الكهربائي عليهم. هذه المواد مصنوعة من بلورات أو سيراميك لها حجم محدد مثل الكوارتز أو تيتانات الباريوم. يرجع التأثير الكهروضغطي إلى محاذاة البنية البلورية، الذى يولد شحنة كهربائية عندما تكون المادة مشوهة. كما موضح شكل (6)
من أهم موادها : الليثيوم Lithium Niobate (LiNbO3) هي مادة بلورية يمكن استخدامها لإنشاء أجهزة بصرية ، وقد استخدمت في الاتصالات السلكية واللاسلكية ومعالجة الإشارات البصرية.



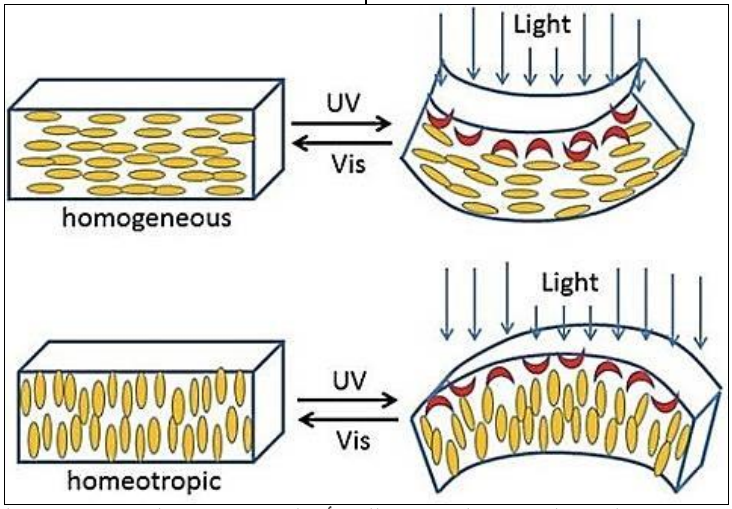
شكل (6) يوضح المواد الكهروضغطية تولد تيار كهربائي عند تعرضها للإجهاد الميكانيكي

4- السوائل المغناطيسية Magneto Rheological (MR):
نوع من المواد الذكية التي يمكن أن تغير اللزوجة استجابة لمجال مغناطيسي. تتكون هذه السوائل عادة من جزيئات صغيرة الحجم (ميكرونية) معلقة في حامل سائل .عادة ما تكون الجسيمات مصنوعة من الحديد أو غيرها من المواد المغناطيسية وعند تعرضها لحقل مغناطيسي ، فإنها تتشتت في السائل مما يسبب تغير في خواص المادة وبالتالى تغير في اللزوجة. كما موضح شكل (7)
من أهم موادها (Ferro fluid) هو سائل يحتوي على جسيمات الحديد المعلقة في سائل مثل الماء والزيت أو الكيروسين. يمكن استخدام Ferro fluid لإنشاء هياكل يمكن أن يتغير الشكل استجابة لمجال مغناطيسي ، وإستغلاله في مجالات مختلفة مثل الروبوتات .



شكل (7) يوضح قدرة السوائل المغناطيسية على تغيير الشكل استجابة لمجال مغناطيسي
(Stanislav Sikulskyi Al, 2022)

5- المواد الحرارية Thermochromic materials:
نوع من المواد الذكية يغير اللون أو العتامة استجابة لتغييرات درجة الحرارة .هذه المواد مصنوعة عادة من مركبات غير عضوية أو عضوية والتي تظهر تغييرًا عكسيًا في اللون أو العتامة عندما تتغير درجة الحرارة. عادة ما يكون تغيير اللون بسبب تغيير في التركيب البلوري للمادة أو حركة الأيونات داخلها.
ومن أكثرالمواد الذكية الحرارية إنتشارا هي أصباغ (leuco)هي فئة من المركبات العضوية عديمة اللون التي يمكن استخدامها لعمل أحبار وطلاءات حرارية. هذه الأصباغ تغير اللون عندما يتم تسخينها وتعود إلى اللون الأصلي عندما يتم تبريدها. كما موضح شكل (8)



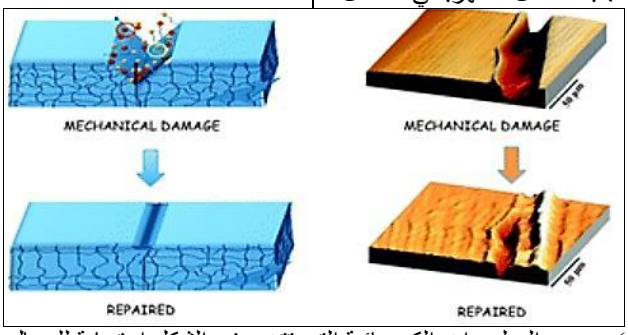
شكل (8) يوضح المواد الحرارية التى تغير اللون أو العتامة استجابة لتغييرات درجة الحرارة

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

6- البوليمرات الضوئية (Photo responsive polymers)
هي نوع من المواد الذكية يمكن أن تغير الشكل أو الخصائص استجابة للضوء. تتكون هذه البوليمرات عادة من بوليمر المصفوفة ومكون حساس للضوء، مثل Chromophore أو photosensitizer ، وهو قادر على الاستجابة لأطوال موجية محددة من الضوء.
من أهمها موادها (Spiropyran) (SP) وهو مكون حساس للضوء يمكنه تغيير التشكل عند تعرضه للضوء ، مما يؤدي إلى تغيير في خصائص البوليمر. كما موضح شكل (9)

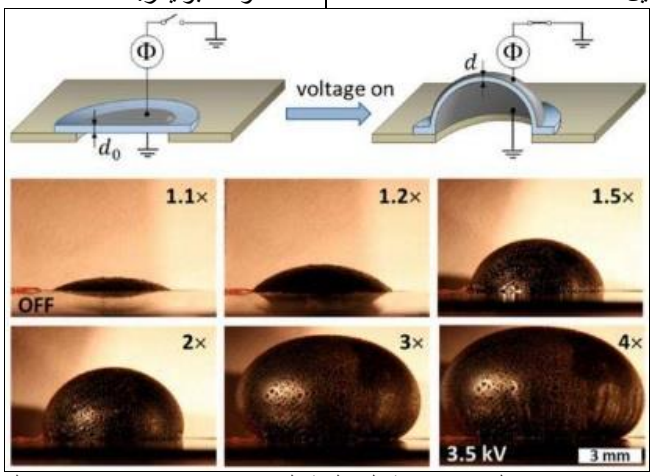
شكل (9) يوضح البوليمرات الضوئية تغير شكلها استجابة للضوء

7- البوليمرات الكهربائية Electroactive (EAPs) Polymers
هي نوع من المواد الذكية التي تتغير فى الشكل أو الخصائص استجابة للمجال الكهربائي. هذه البوليمرات تتكون عادة من مصفوفة البوليمر والمكون الذي يمكنه الاستجابة للحقل الكهربائي ، مثل بوليمر موصل أو بوليمر أيوني. كما موضح شكل (10)
من أهم موادها استخداما على نطاق واسع poly pyrrole (PPY) هو بوليمر موصل يمكن أن يغير التشكل عند تطبيق مجال كهربي ، مما يؤدي إلى تغيير في شكل أو خواص البوليمر.



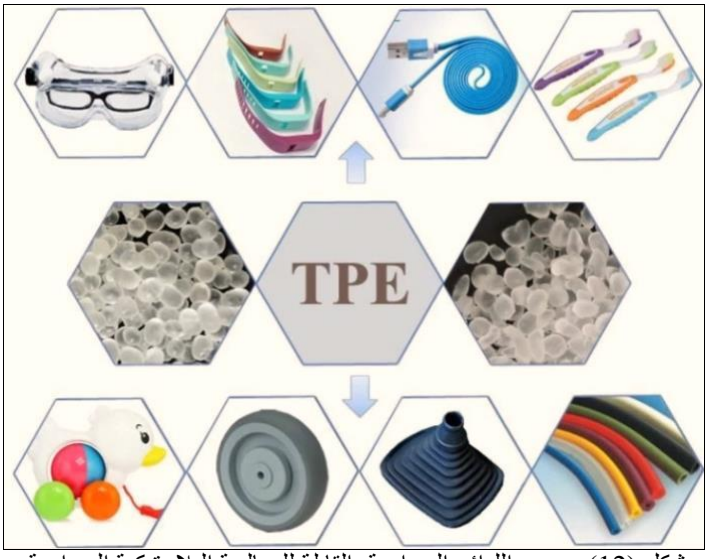
شكل (10) يوضح البوليمرات الكهربائية التي تتغير فى الشكل استجابة للمجال الكهربائي

8- بوليمرات ذاتية المعالجة (الإصلاح) Self-healing polymers
نوع من المواد الذكية يمكنه إصلاح نفسه عند التضرر. حيث تحتوي البوليمرات عادة على عامل إصلاح
سائل أو صلب ، يمكن أن يتدفق أو يهاجر إلى المنطقة التالفة ويصلح مصفوفة البوليمر. يمكن تفعيل عامل الإصلاح من خلال آليات مختلفة مثل درجة الحرارة ، الرقم الهيدروجيني ، الضوء ، أو الإجهاد الميكانيكي . كما موضح شكل (11) من أمثلتها البوليمرات ذاتية المعالجة النشطة حراريا تحتوي هذه البوليمرات على عامل إصلاح يتم تنشيطه عند تسخين البوليمر فوق درجة حرارة معينة حيث يتدفق إلى المنطقة التالفة ويصلح مصفوفة البوليمر.



شكل (11) يوضح بوليمرات ذاتية المعالجة التى يمكنها إصلاح نفسها عند التضرر
(Richard Spontak Al,2016)

9- اللدائن الحرارية Thermoplastic Elastomers (TPEs)
أحد أنواع المواد الذكية التي تجمع بين خصائص اللدائن الحرارية واللدائن المطاطية معا .هذه المواد تظهر مرونة اللدائن وقابلية المعالجة البلاستيكية الحرارية. يمكن معالجة TPEs باستخدام طرق مختلفة مثل صب الحقن والبثق . كما موضح شكل (12)
من أهم امثلتها: كوبوليمر كتلة الستيرين Styrenic Block Copolymers (SBCs)واحدة من أهم TPEs وتستخدم على نطاق واسع هي تتكون من بوليمر الستايرين وبوليمر مطاطي (poly butadiene) والتي تمتزج معا لتنتج مادة لها سلوك بلاستيكي مرن. ولها خصائص ميكانيكية جيدة ، قابلية معالجة جيدة، ومقاومة جيدة للمواد الكيميائية مما يجعلها مناسبة لمجموعة واسعة من التطبيقات مثل قطع غيار السيارات.



شكل (12) يوضح اللدائن الحرارية القابلة للمعالجة البلاستيكية الحرارية.

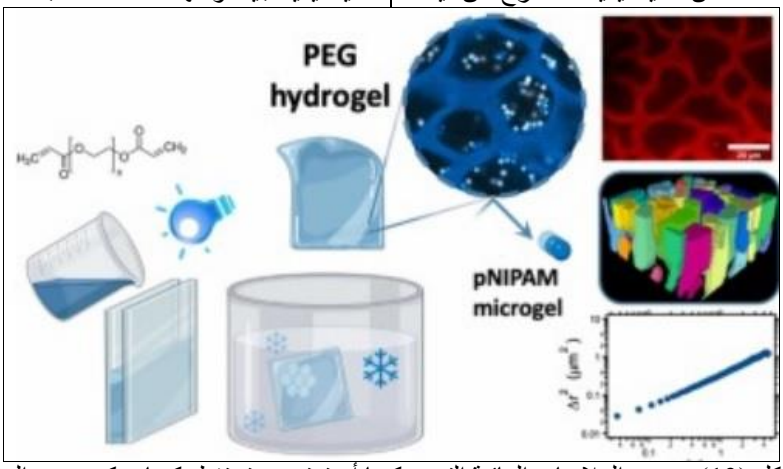
10- الهلاميات المائية Hydrogels

نوع من المواد الذكية تتألف من شبكة من سلاسل البوليمر التي يمكن أن تمتص وتحتفظ بكميات كبيرة من الماء. يمكن أن تكون هذه المواد مصنوعة من مجموعة متنوعة من البوليمرات الطبيعية أو الاصطناعية

مثل البولي إيثيلين جليكول (PEG) ، كحول البولي فينيل(PVA) ، ولها مجموعة واسعة من الخصائص الميكانيكية ، تتدرج من لينة ومرنة إلى قاسية وهش ، اعتمادا على تكوينهم . يمكنها تقليد المصفوفة خارج الخلية وتوفير بيئة مناسبة لنمو الخلايا والانتشار. كما موضح شكل (13)

ومن أهم موادها الهلاميات المائية ذات قاعدة البولي إيثيلين جليكول PEG Hydrogels والتى لها

خصائص التوافق الحيوي وقابلية التحلل الحيوي. وتطبيقات ميكانيكية جيدة ومنها هندسة الأنسجة.



شكل (13) يوضح الهلاميات المائية التي يمكنها أن تمتص وتحتفظ بكميات كبيرة من الماء

تصنف تطبيقات الطباعة رباعية الأبعاد إلى ثلاث فئات رئيسية تشمل:

1- التجميع الذاتي (self-assembly)

2- الوظائف المتعددة (multi-functionality)

3- الإصلاح الذاتي (self-repair)

إن قدرة الهياكل المطبوعة رباعية الأبعاد على التجميع الذاتي والإصلاح الذاتي تفتح فرصًا جديدة للتطبيق، مثل تصنيع أجهزة جراحية طفيفة التوغل يمكن وضعها في جسم الإنسان من خلال شق جراحي صغير ثم تجميعها في الموضع المطلوب لإجراء العمليات الجراحية. التجميع الذاتي يمكن أن يكون التطبيق المستقبلي على نطاق واسع وفي بيئة قاسية. يمكن طباعة الأجزاء الفردية باستخدام طابعات ثلاثية الأبعاد صغيرة ثم تجميعها ذاتيًا في هياكل أكبر، مثل الهوائيات الفضائية والأقمار الصناعية . ويمكن استغلال هذه الإمكانية لإنشاء أنظمة نقل للأجزاء المعقدة إلى محطة الفضاء الدولية. تشمل التطبيقات الإضافية المباني ذاتية التجميع، وهذا مفيد بشكل خاص في مناطق الحرب أو في الفضاء الخارجي حيث يمكن للعناصر أن تجتمع معًا لتكوين مبنى مكتمل بأقل قوة عمل. هناك أيضًا ميزة إضافية تتمثل في إمكانية إزالة بعض القيود في البناء عن طريق استخدام الطباعة رباعية الأبعاد. يمكن طباعة المواد الصلبة ثلاثية الأبعاد جنبًا إلى جنب مع المواد الذكية لإنشاء مناطق محددة من الجزء الذي يعمل كمفاصل ومفصلات للثني.

مميزات الطباعة رباعية الأبعاد للمواد الذكية المعدنية :

تطورت الطباعة رباعية الأبعاد للمواد المعدنية للأسباب التالية:

1- القدرة على التجميع الذاتي والقيام بالوظائف المتعددة.

2- قدرة تشغيل أعلى.

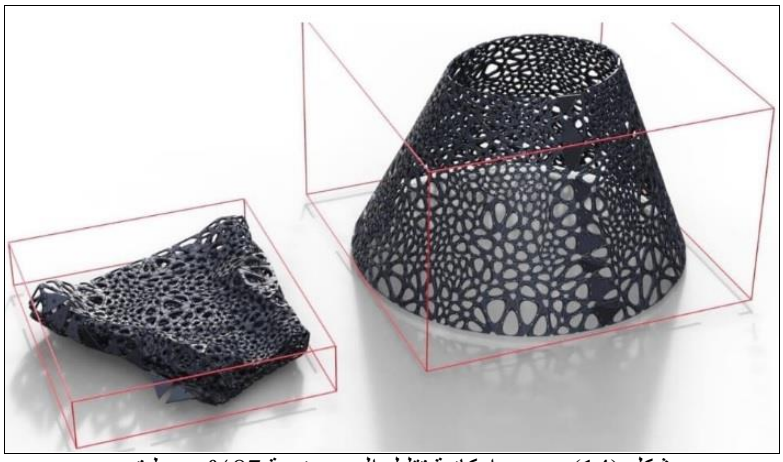
التغلب على التحديات مثل الحد من إزالة معدلات التآكل العالية للأدوات المرتبطة بالطرق التقليدية.

مزايا إضافية متمثلة في التوافق الحيوي الفائق .

القوة النوعية العالية، ومقاومة التآكل .

لها القدرة على أن تغير شكلها وتتقلص وتتكشف كما هو موضح شكل (14) ، فيمكن ضغط الهياكل الكبيرة جدًا بحيث لا تناسب الطابعة للطباعة ثلاثية الأبعاد في شكلها الثانوي.

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



شكل (14) يوضح إمكانية تقليل الحجم بنسبة 87% مع طيتين

7- تلعب الطباعة رباعية الأبعاد دورا كبيرا فى الحفاظ على الإستدامة حيث :

- تتيح الطباعة رباعية الأبعاد إمكانية إنشاء مكونات ذاتية التجميع تقلل من نفايات التغليف والنقل والنفايات المرتبطة بالتجميع. وهذا يمكن أن يساعد في تقليل البصمة البيئية للتصنيع والبناء. يتم تجنب النفايات تمامًا ويتم تعبئة المنتج المطلوب ونقله وتجميعه فقط.
- تتيح الطباعة رباعية الأبعاد إنشاء مجسمات يمكنها التكيف مع الظروف المختلفة، مما يقلل الحاجة إلى مكونات ثابتة متعددة. يمكن أن يؤدي ذلك إلى توفير الموارد وتقليل النفايات واستخدام المواد بشكل أكثر كفاءة.
- في مجال البناء والبنية التحتية، يمكن أن تؤدي الهياكل المطبوعة رباعية الأبعاد والتي يمكنها الإصلاح الذاتي، أو التكيف مع التغيرات البيئية، أو تحسين استخدام الطاقة، إلى مباني وبنية تحتية تدوم لفترة أطول وتتطلب صيانة أقل.
- في صناعات السيارات والفضاء، يمكن للطباعة رباعية الأبعاد إنشاء مكونات تعمل على تحسين الديناميكا الهوائية وكفاءة استهلاك الوقود والسلامة الهيكلية، مما يؤدي إلى خيارات نقل أكثر استدامة.
- يمكن للهياكل والمواد التكيفية أن تساعد في تحسين استخدام الطاقة. على سبيل المثال، في الهندسة المعمارية، يمكن للواجهات أو أنظمة التظليل المطبوعة رباعية الأبعاد التكيف مع موضع الشمس، مما يقلل من احتياجات التدفئة والتبريد والحفاظ على الطاقة.

6- مفهوم الإعاقة (ذوى الإحتياجات الخاصة):

- تعريف الإعاقة : أي حالة في الجسم أو العقل تجعل من الصعب على الشخص المصاب بهذه الحالة القيام بأنشطة معينة والتفاعل مع العالم من حوله".

- أنواع الإعاقة (Types of Disabilities)

1. الإعاقة الجسمانية (Physical)

يتم تعريف الإعاقة الجسدية بأنها "حالة خطيرة تؤثر على جزء من جسم الشخص مما يضعف أو يحد من أدائه البدني أو حركته أو قدرته على التحمل.

2. الإعاقة الذهنية (Intellectual)

يواجه الأشخاص ذوى الإعاقة الذهنية صعوبة في أداء المهام بما في ذلك الرعاية الذاتية والسلامة والتواصل والتفاعلات الاجتماعية.

3. الإعاقة العقلية (Mental Illness)

الحد من القدرة الفكرية للشخص والتي يمكن أن تكون ناجمة عن إصابة في الدماغ أو نمو عصبي غير طبيعي. يؤثر المرض النفسي على شعور الشخص وتصرفاته وتفاعله مع الآخرين.

4. الإعاقة الحسية (Sensory)

تؤثر الإعاقة الحسية على السمع أو البصر أو اللمس أو الشم أو التذوق لدى الفرد. تشمل أنواع الإعاقات الحسية اضطراب طيف التوحد والعمى وفقدان السمع.

https://udservices.org/which-term-use-people-with-(/disabilities)

يتأثر الأشخاص ذوى الإعاقة بشكل غير متناسب بالكوارث المناخية المتطرفة وتغير المناخ. خاصة الأفراد الذين يعانون من إصابة في النخاع الشوكي (SCI) معرضون للخطر بشكل خاص بسبب عدم الحركة النسبية والاعتماد المحتمل على الآخرين للرعاية الذاتية. علاوة على ذلك، الأفراد الذين لديهم مستوى أعلى من اصابات النخاع الشوكي سيكون لديهم درجة حرارة أساسية ترتفع أو تنخفض بناءً على درجة الحرارة المحيطة مما يجعلهم أكثر عرضة للحرارة والبرودة الشديدة.

يدرس عدد من مجموعات العمل الدولية مسألة المناخ والصحة ؛ ومع ذلك، يتم منح القليل من الاهتمام

نسبيًا لقضايا الأشخاص ذوي الإعاقة ، وخاصة الأشخاص الذين يعانون من اصابات النخاع الشوكي.

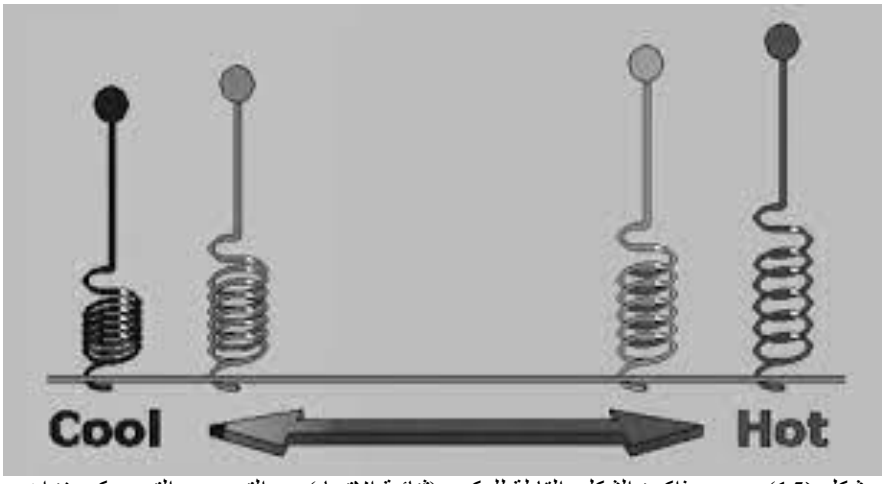
(Marcalee Alexander, AL,2019)

الستائر الذكية (Smart curtains):

تطورت تقنية الطباعة رباعية الأبعاد لإنشاء هياكل يمكنها تغيير شكلها استجابة للمحفزات البيئية، مثل الحرارة. ويمكن تطبيق هذه التقنية لإنشاء ستائر ذكية يمكن تمديدها أو ضغطها تلقائيًا دون الحاجة إلى أجهزة استشعار أو أجهزة كهربائية.

وتعتبر الستائر الذكية التى تعدل موضعها تلقائيا إستجابة لأشعة الشمس من أهم التطبيقات العملية لهذه التقنية حيث يمكن أن تتسبب حرارة الشمس المختلفة على مدار اليوم في تغيير شكل الهياكل الديناميكية المطبوعة، مما يسمح للستائر بتعديل موضعها وفقًا لذلك ثم العودة إلى شكلها الأصلي دون تدخل بشري عند زوال المحفز.

وتصنع الهياكل الديناميكية للستائر الذكية من بوليمرات ذاكرة الشكل (SMPs)، أو سبائك ذاكرة الشكل (SMAs)، ويمكن برمجة الكائنات المطبوعة لإجراء تغييرات في الشكل استجابة للعوامل البيئية، حيث تتمتع المواد الذكية المتذكرة للشكل والمتأثرة بالحرارة سواء(SMAs) أو (SMPs) بالقابلية العكسية ويشار اليها عادةً باسم "الذاكرة ثنائية الاتجاه" لأنها تعطي المادة شكلين دائمين (شكل دائم فى غياب المحفز وشكل دائم فى وجود المحفز)، يوضح شكل (15) ذاكرة الشكل (ثنائية الاتجاه) مع التسخين والتبريد كمحفزات



شكل (15) يوضح ذاكرة الشكل القابلة للعكس (ثنائية الاتجاه) مع التسخين والتبريد كمحفزات

ميكانيكية عمل الستائر الذكية How smart curtains work:

إن الابتكار الرئيسي لميكانيكية الستائر الذكية هو تقنية الطباعة رباعية الأبعاد القابلة للعكس والتي تستخدم مواد متخصصة، يمكن أن تغير شكلها عند تعرضها لتغيرات درجة الحرارة، ثم تعود مرة أخرى إلى شكلها الأصلي. ويتم تحقيق ذلك من خلال استخدام المطاط الصناعي الذي يسبب الضغط أثناء مرحلة البرمجة ويخزن الطاقة لتسهيل مرحلة استعادة الشكل. وتتضمن العملية نفخ المطاط الصناعي بالإيثانول للحث على الضغط على المادة الانتقالية. عند تسخينها، يتغير شكل المادة الانتقالية. بعد تجفيف الإيثانول، يمكن تسخين المادة الانتقالية مرة أخرى لتعود إلى شكلها الأصلي، حيث يقوم المطاط الصناعي بسحبها مرة أخرى بسبب الطاقة المرنة المخزنة. حيث أن إعادة تسخين المكون سوف يؤدي إلى تليين المكون الانتقالي ، ويتم تنشيط الطاقة المرنة المخزنة لإعادة البوليمر إلى شكله الأصلي

وعلى عكس طرق الطباعة رباعية الأبعاد السابقة التي اعتمدت على الهلاميات المائية أو المعالجة اليدوية، توفر هذه التقنية القابلة للعكس دقة محسنة في استعادة الشكل الأصلي للكائنات المطبوعة. تمكن الطاقة المرنة المخزنة في المطاط الصناعي المادة من العودة إلى شكلها الأولي بشكل موثوق ودقيق.

باختصار، تتمثل الجوانب الرئيسية لكيفية عمل هذه الستائر الذكية في استخدام مواد طباعة رباعية الأبعاد متخصصة وقابلة للعكس، والقدرة على تغيير الشكل بشكل مستقل استجابة للعوامل البيئية، والاستعادة الدقيقة للشكل الأصلي دون الحاجة إلى مكونات كهربائية أو يدوية

المرحلتان الرئيسيتان للدورة العكسية :

1- البرمجة

2- الاسترداد (الإسترجاع)

أولاً: مرحلة البرمجة:

الخطوة 1: يتم تعريض الشكل الدائم الأول للإيثانول.

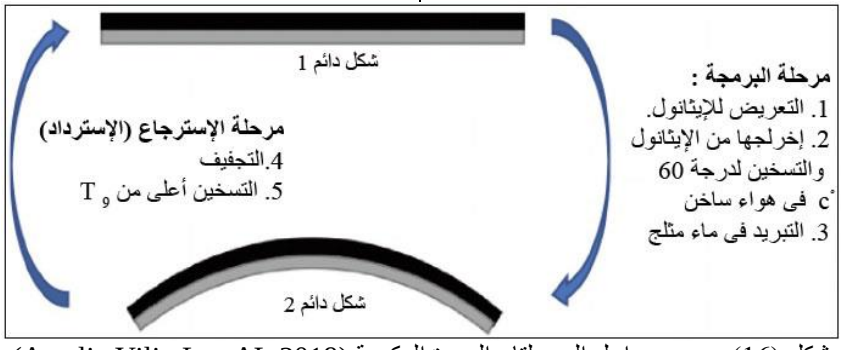
الخطوة 2: تتم إزالة المكون من الإيثانول وتسخينه عند 60 درجة مئوية في الماء للسماح بتكوين الشكل الدائم الثاني.

الخطوة 3: يتم تبريد المكون للسماح للمكون بالتثبيت في الشكل الدائم الثاني.

ثانيا: مرحلة الاسترداد (الإسترجاع):

الخطوة 4: يتم ترك المكون حتى يجف.

الخطوة 5: يتم تسخين المكون لاستعادة الشكل الدائم الأول . كما هو موضح شكل (16)



شكل (16) يوضح مراحل المرحلتان الدورة العكسية (Amelia Yilin Lee AL,2019)

المواد الذكية المستخدمة فى تصنيع الستائر الذكية

Smart materials used in manufacturing smart curtains

يجب أن تتمتع المواد المطبوعة رباعية الأبعاد المستخدمة في الستائر الذكية بقوة ميكانيكية ممتازة، وموصلية حرارية، وقدرات على تغيير الشكل حتى تتمكن من الأداء الجيد. يمكن أن يؤدي إدخال أكسيد الجرافين (GO) في راتنجات الإيبوكسي أكريليت إلى تحسين التوصيل الحراري والخواص الميكانيكية للدائن المطبوعة رباعية الأبعاد بشكل كبير؛ إذ أن الهيدروجيل لم يحقق القوى الميكانيكية المطلوبة لذلك.

ويعد الاختيار بعناية وتحسين التكوين ومعلمات الطباعة للمواد الذكية، وخاصة دمج الحشوات القائمة على الجرافين، أمرًا بالغ الأهمية لتطوير مواد مطبوعة رباعية الأبعاد عالية الأداء ذات توصيل حراري ممتاز وذاكرة شكل وخصائص ميكانيكية.

المميزات الرئيسية لاستخدام سبائك ذاكرة الشكل (SMAs) في الستائر المطبوعة رباعية الأبعاد:

- **تغيير الشكل التلقائي:** يمكن للـ SMAs تغيير شكلها تلقائيًا استجابة للتغيرات في درجة الحرارة الخارجية. يتيح ذلك للستائر ضبط موضعها تلقائيًا وإنشاء فجوات هوائية بين طبقات القماش مع تغير درجة الحرارة.
- **الانعكاس والاستقرار:** توفر SMAs المطبوعة رباعية الأبعاد ميزات ميكانيكية محسنة وقابلية الانعكاس والثبات مقارنة بالمواد الأخرى مثل بوليمرات ذاكرة الشكل (SMPs). وهذا يجعلها أكثر ملاءمة لتطبيقات مشغل المستشعرات مثل الستائر الذكية.

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

- **استرداد الضغط العالي:** في حين تتمتع SMPs بمزايا مثل استرداد الضغط العالي، والكثافة المنخفضة، والمعالجة البسيطة، يمكن أن توفرSMA إمكانات أعلى لاستعادة الضغط والتي تعد ضرورية لتطبيقات الستارة.
- **التأثيرات التآزرية:** يمكن أن يؤدي الجمع بين SMAs والمواد الأخرى مثل بوليمرات ذاكرة الشكل إلى تحسين سلوك استعادة الشكل وتحسين أداء الستائر المطبوعة رباعية الأبعاد.
- **التخصيص والقدرة على التكيف:** يسمح تأثير ذاكرة الشكل لـ SMAs بتخصيص الستائر المطبوعة رباعية الأبعاد وتكييفها مع ظروف بيئية محددة، مثل التغيرات في درجات الحرارة، وتحسين وظائفها.
- **المتانة:** القوة الميكانيكية واستقرار SMAs تجعل الستائر المطبوعة رباعية الأبعاد باستخدام هذه المواد أكثر متانة ومناسبة للاستخدام على المدى الطويل مقارنة بالبدائل الأخرى. (Jaronie Mohd Jani AL, 2014)

المحور التطبيقى (العملى):

يتبع المحور العملى للبحث دراسة وصفية تحليلية لمجموعة من التصميمات المقترحة لمراحل تنفيذ وميكانيكية عملية غلق وفتح الستارة الذكية بتوظيف إستخدام المواد الذكيه المتذكرة للشكل.

ونظرا لعدم توافر المواد الذكية المتذكرة للشكل التى تتأثر بالحرارة وصعوبة الحصول عليها داخل جمهورية مصر العربية فقد تم عمل تصميمات كمحاكاة للتطبيقات على برامج الكمبيوتر

ويتناول الجانب التطبيقى للبحث الطباعة رباعية الأبعاد للهياكل (التى يتم تركيب الستائر بها) والتى تم تصنيعها من مواد ذكية يمكنها تغيير شكلها أو خصائصها بمرور الوقت استجابةً للمحفزات البيئية مثل درجة الحرارة أو الرطوبة أو الضوء، وفيما يلي الخطوات الأساسية لإنشائها:

1- اختيار مادة ذكية سريعة الاستجابة للمحفز:

يتم اختيار مادة ذكية يمكنها تغيير شكلها أو خصائصها عند تعرضها للمحفز المطلوب وهو حرارة الشمس مثل :

- البوليمرات المتذكرة للشكل shape memory polymers (SMPs): ويندرج تحتها انواع عديدة منها مادة البولي يوريثين الحراري (TPU) التي يمكن أن تغير شكلها بالحرارة.
- السبائك المتذكرة للشكل (SMAs) Shape memory alloys التى تتميز بالقدرة على "تذكر" شكلها الأصلي عندما تتشوه ، فإنه يمكن أن تعود إلى شكلها الأصلي عن طريق التسخين أو التبريد، ومثال على سبيكة ذاكرة الشكل هي (النتنول Nitinol) وهي سبيكة من النيكل والتيتانيوم

2- تصميم وبرمجة النموذج المطبوع رباعي الأبعاد:

يتم تصميم النموذج المراد طباعته بالمواد الذكية (قضبان أو دعامات الستائر) وبرمجته على شكله الاصلى (بدون تحفيز) وكذلك شكل واتجاه حركة النموذج عند تحفيز المادة الذكية المتذكرة للشكل بالحرارة

3- طباعة النموذج رباعى الأبعاد:

يتم استخدم التكنولوجيا المناسبة لطباعة النموذج مع اختيارالمادة الذكية التى تلائم وظيفه النموذج ونوع المحفز الذى يتأثر به

4- التعرض للمحفز:

عند تعرض الهياكل المطبوعة رباعية الابعاد (قضبان او دعامات الستائر) للمحفز الحرارى في البيئة وهو حرارة الشمس سوف يتغير سلوك المادة ويتحول الى الشكل المبرمج تحت تأثير المحفز للمادة الذكية ويتمدد ويتم غلق الستائر تماما لحماية ذوى الاحتياجات الخاصة من حرارة الشمس

5- زوال المحفز:

عند زوال المحفز الحرارى وهو حرارة الشمس سوف يتغير سلوك المادة فى الاتجاه المعاكس ويتحول إلى الشكل المبرمج عند زوال المحفز وهو الشكل الاصلى وتنضغط الهياكل المطبوعة رباعية الابعاد (قضبان او دعامات الستائر) ويتم فتح الستائر.

التطبيق الاول	
اسم المنتج	ستائر ذكية (يتم فتحها وغلقها دون تدخل بشرى او اجهزة تحكم)
الجزء المطبوع بتكنولوجيا الطباعة رباعية الأبعاد	القضبان أو الدعامات التى يتم تركيب الستائر بها (هياكل ديناميكية)
الوظيفة	يتم غلق وفتح الستائر المعلقة فى القضبان او الدعامات نتيجة التعرض للمحفز وزواله
المحفز	حرارة الشمس
برمجة المنتج المطبوع	يتم برمجة المنتج المطبوع رباعى الابعاد عند طباعته فى درجة حرارة الغرفة على الشكل المنضغط (عدم وجود محفز) ويكون هذا هو الشكل الأصلى (الستائر مفتوحة) يتم برمجة المنتج المطبوع رباعى الابعاد على التمدد عند التعرض للمحفز وهو حرارة الشمس (الستائر مغلقة)
تأثير المحفز على المنتج المطبوع والتغير الناتج	تمدد القضبان المعلق بها الستائر تبعا لما تم البرمجة عليه عند التعرض للمحفز مما يؤدى لغلق الستائر والحماية من حرارة وأشعة الشمس
تأثير زوال المحفز على المنتج المطبوع والتغير الناتج	انكماش أو انضغاط القضبان المعلق بها الستائر ورجوعها إلى الشكل الأصلى المبرمجة عليه عند الطباعة مما يؤدى لفتح الستائر
مكونات المنتج (المادة الذكية)	سبائك ذكية متذكرة للشكل تتأثر بالحرارة بوليمرات ذكية متذكرة للشكل تتأثر بالحرارة

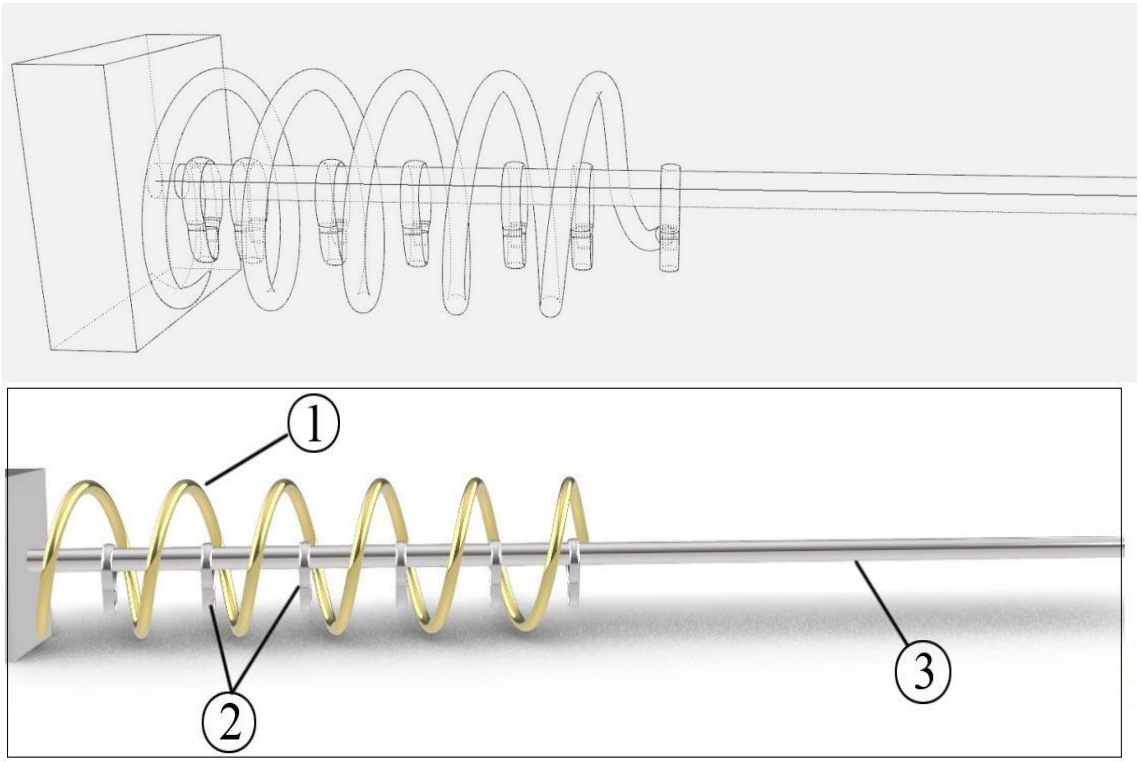
أولاً: محاكاة لتصميمات الستائر الذكية افقية الحركة:

يوضح الشكل (17) رسم توضيحى لمحاكاة نموذج الهيكل الديناميكى فى الحالة الأصلية التى يكون عليها فى حالة غياب المحفز (الستائر مفتوحه) ويتم شرح اجزاء الرسم كالآتى:

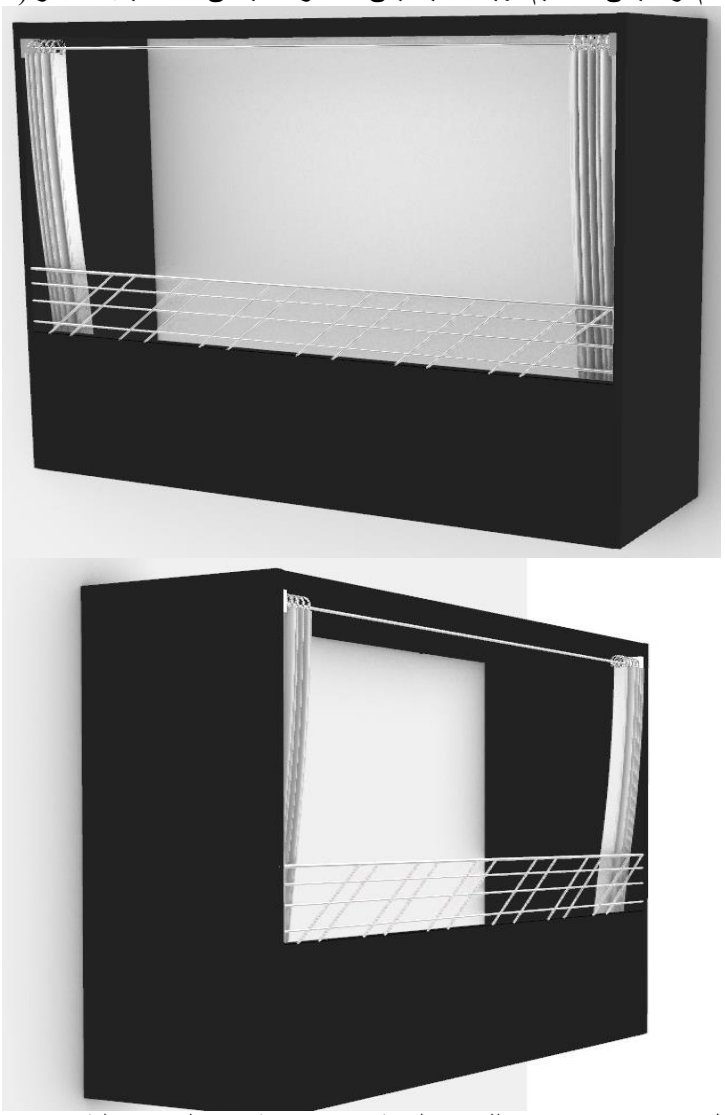
1- رقم 1 بالشكل هو الدعامة أو الهيكل الديناميكى المطبوع بالمادة الذكية المتذكرة للشكل التى تتأثر بالحرارة وتم تصميمه على هذا الشكل الحلزونى المثبت من طرف البدايه وكل حلقة من الشكل الحلزونى ملامسة للماسورة المثبتة وامامها حلقه من الحلقات الحره التى يتم تعليق الستارة عليها.

2- رقم 2 بالشكل هى الحلقات التى يتم تعليق الستائر عليها وهذه الحلقات حره الحركة وموزعه بين حلقات الهيكل الديناميكى الحلزونى الشكل على الماسورة المثبتة.

3- رقم 3 بالشكل هى الماسورة المثبته التى تحمل الستائر المعلقة على الحلقات الحره والجزء المطبوع رباعى الابعاد حلزونى الشكل الذى يتأثر بالحرارة ويتغير شكله.

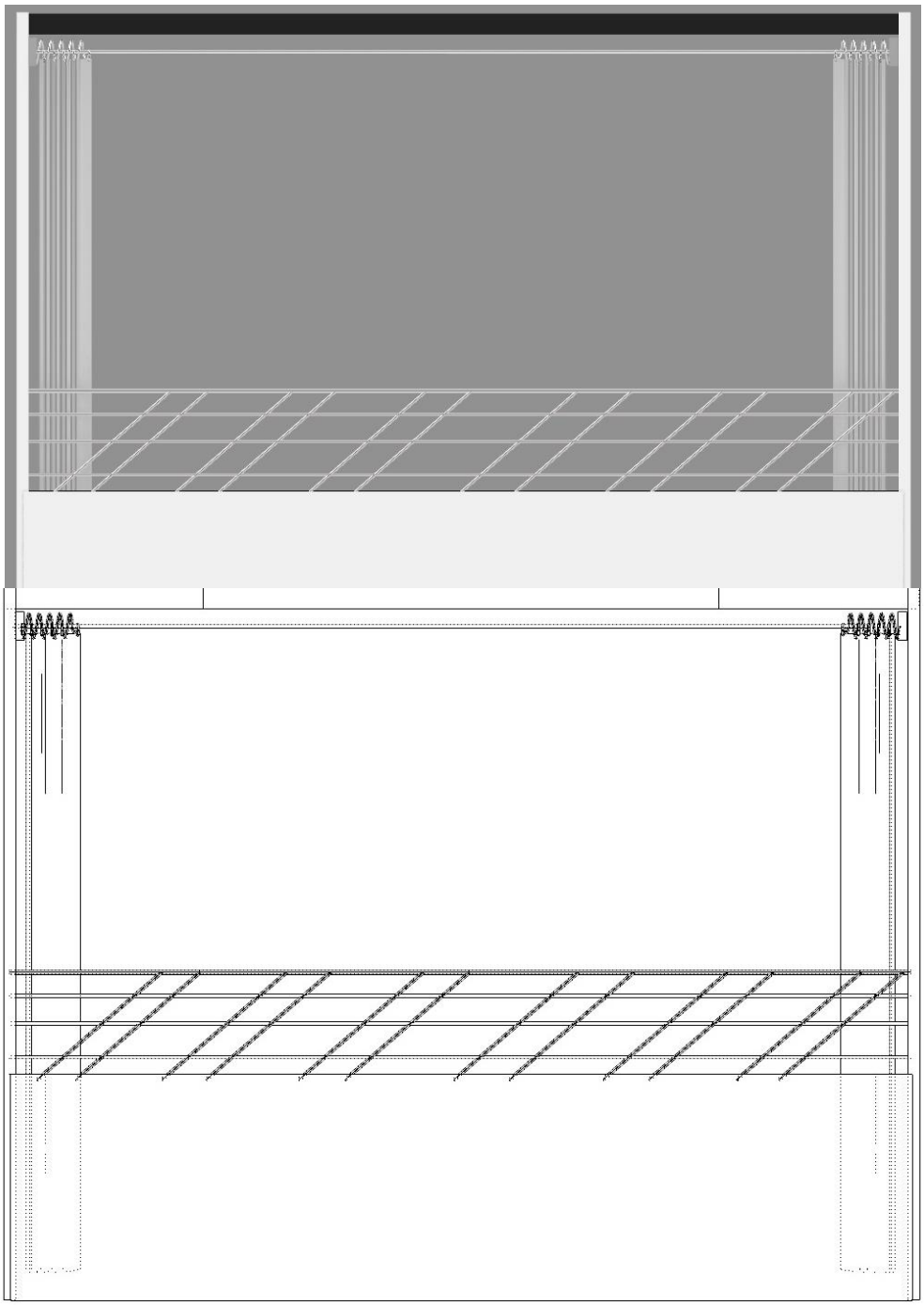


شكل (17) رسم توضيحى لتصميم الهيكل الديناميكى للستائر الذكية فى حالة غياب المحفز (الحالة الأصلية)



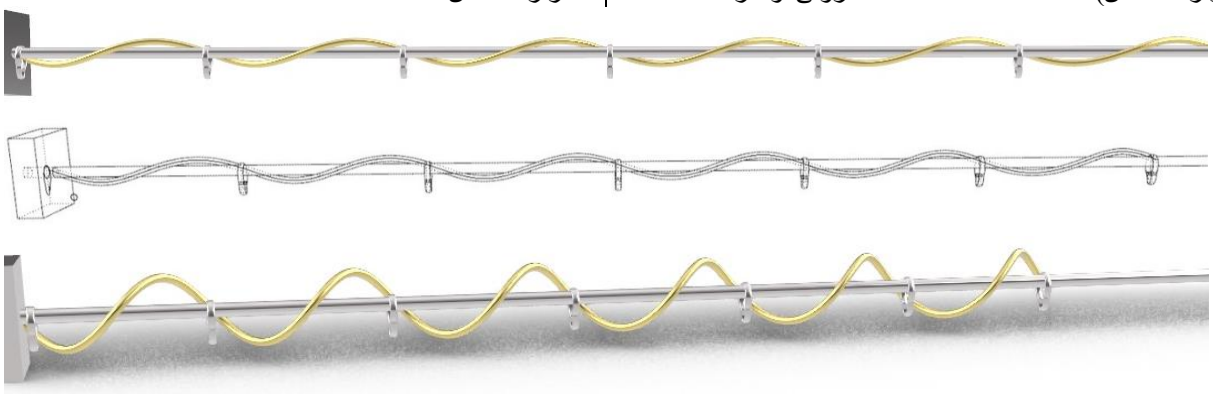
شكل (18) رسم توضيحى للستائر الذكية وهى مفتوحة فى حالتها الاصلية بدون محفز

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

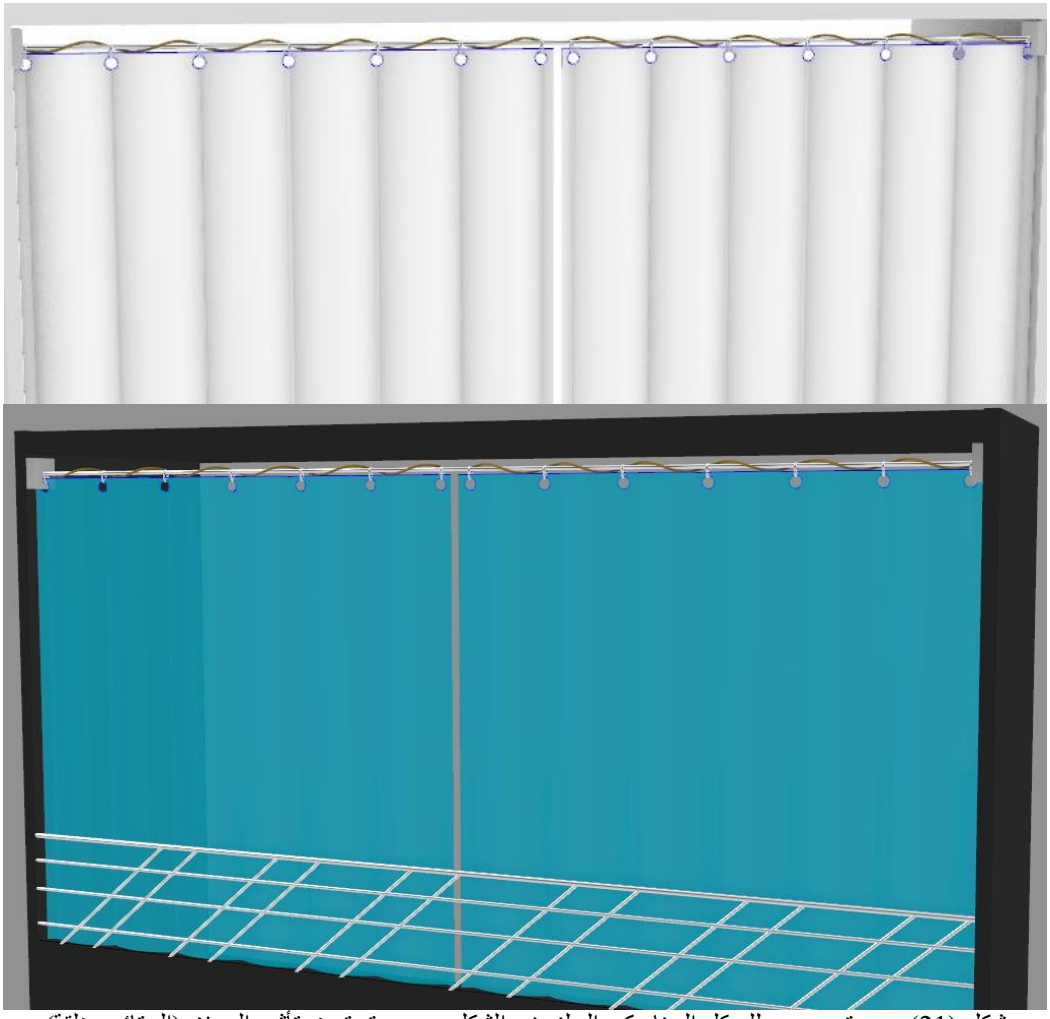


شكل (19) رسم توضيحى للهيكل الديناميكى الحلزونى الشكل والستائرمفتوحة (الحالة الاصلية)

يوضح (الشكل20) حركة الهيكل الديناميكى عند التعرض للمحفز (حرارة الشمس) فتتمدد حلقات الشكل الحلزونى وتحرك الحلقات الحره المعلق عليها الستائر وبالتالى يتم غلق الستائر للحماية من حرارة الشمس.

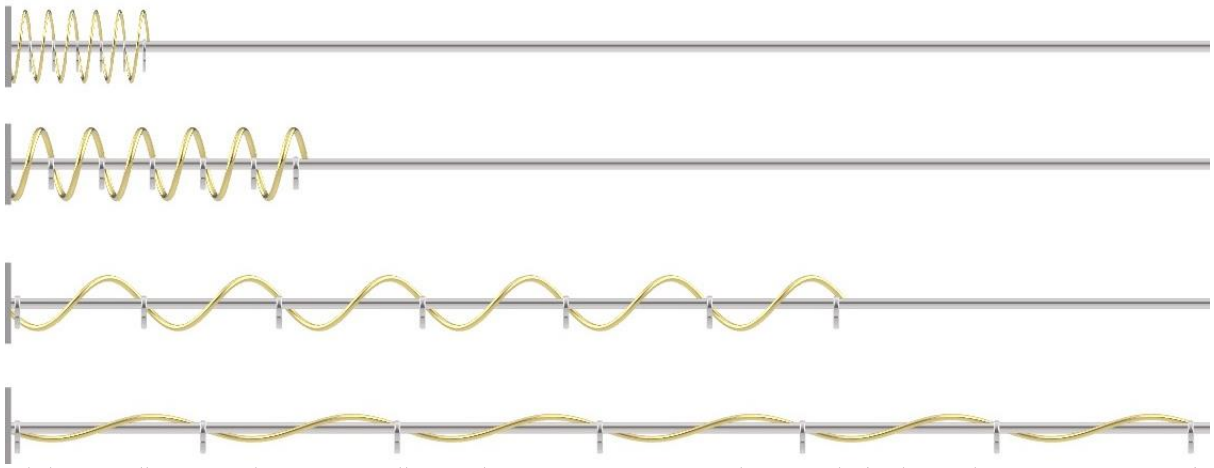


شكل (20) رسم توضيحى لحركة الهيكل الديناميكى للستائر الذكية فى حالة وجود المحفز (الستائر مغلقة)



شكل (21) رسم توضيحى للهيكل الديناميكى الحلزونى الشكل وهو ممتد تحت تأثير المحفز (الستائر مغلقة)

يوضح الشكل (22) حركة الهيكل الديناميكى المطبوع رباعى الابعاد حلزونى الشكل من الحالة الاصلية وهى الشكل الحلزونى المضغوط (الستائر مفتوحة) وعند تعرضه للمحفز (حرارة الشمس) فتبدأ حركة الشكل الحلزونى فى التمدد استجابة لتأثير المحفز حتى يتم غلق الستائر.



شكل (22) رسم توضيحى لحركة الهيكل الديناميكى المطبوع رباعى الابعاد عند التعرض للمحفز (حرارة الشمس) وكذلك حركة الحلقات الحرة المعلق عليها الستائر على الماسورة المثبته

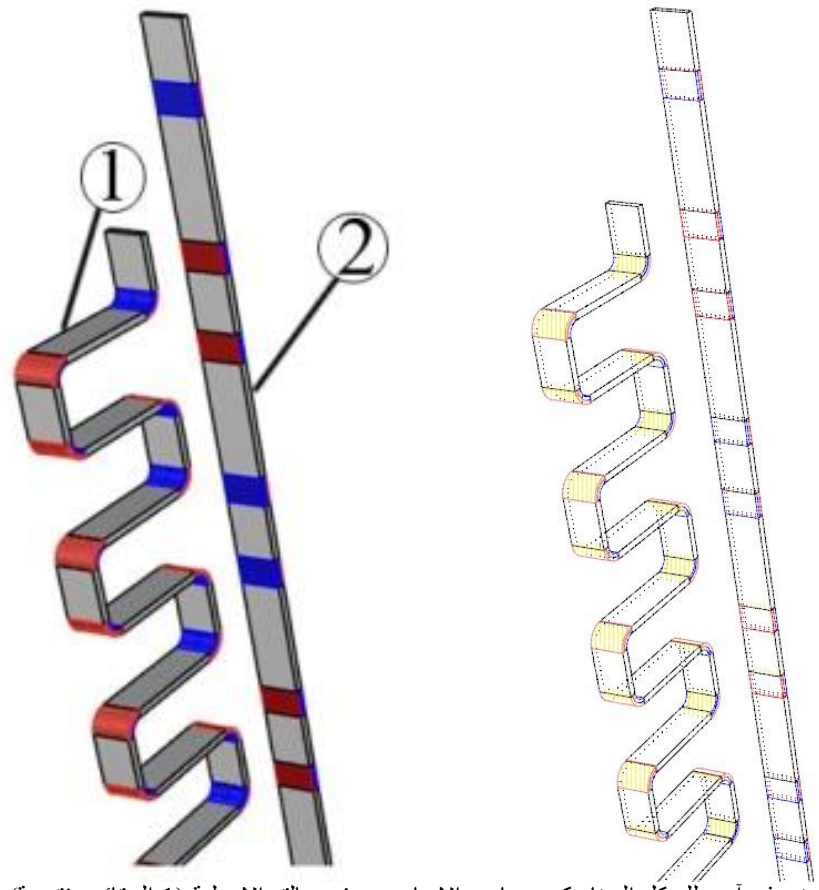
ثانيا : محاكاة لتصميمات الستائر الذكية رأسية الحركة:

يوضح (الشكل23) رسم توضيحى لمحاكاة نموذج آخر للهيكل الديناميكى فى الحالة الأصلية التى يكون عليها فى حالة غياب المحفز (الستائر مفتوحه) وكذلك فى حالة وجود المحفز (الستائر مغلقة) ويتم شرح اجزاء الرسم كالآتى:

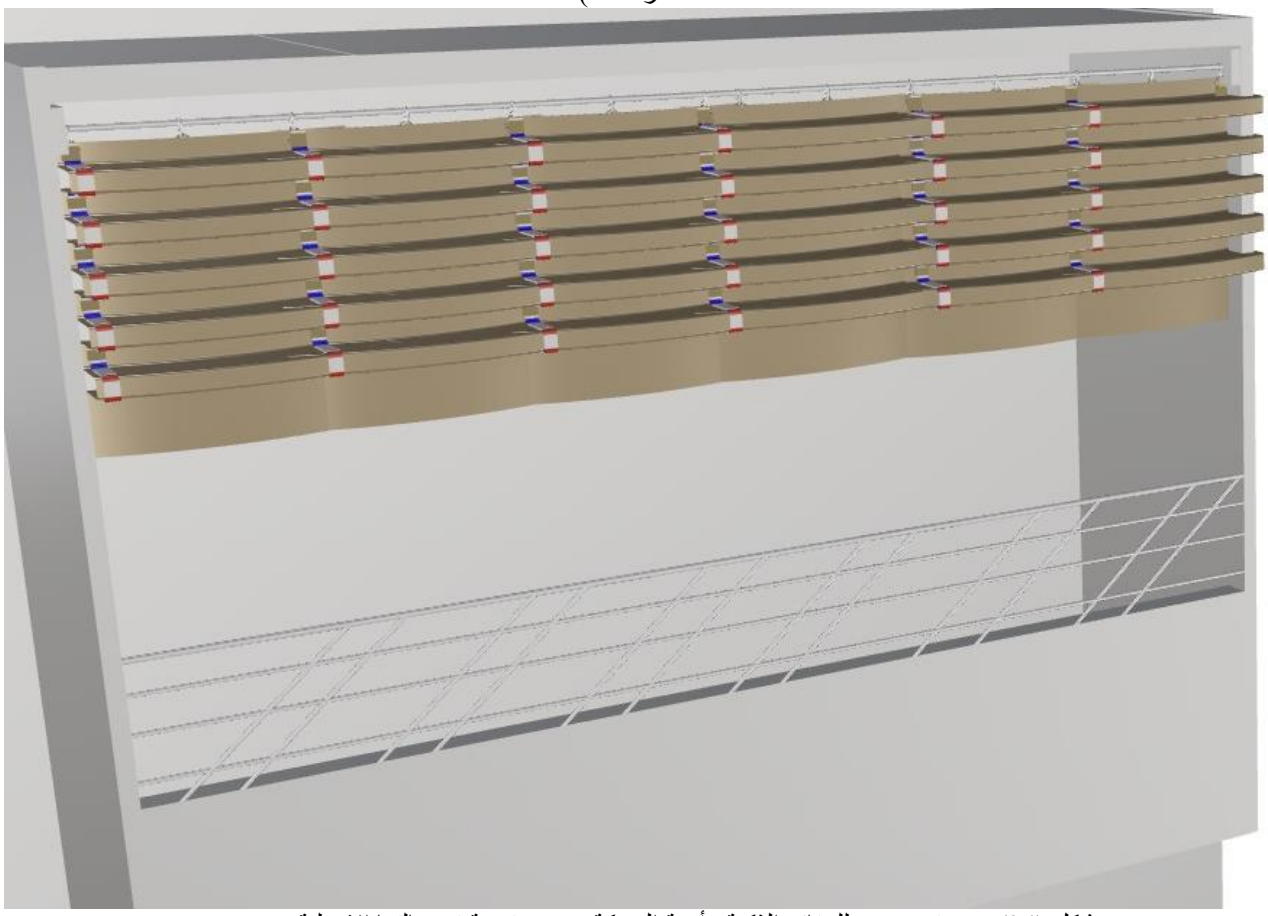
رقم 1 بالشكل يوضح الدعامة أو الهيكل الديناميكى المطبوع بالمادة الذكية المتذكرة للشكل التى تتأثر بالحرارة وتم تصميمه على هيئة قمم وقيعان يتم تثبيت الحلقات المعلق عليها الستائر بها (الحالة الأصلية)

رقم 2 بالشكل يوضح الدعامة أو الهيكل الديناميكى المطبوع بالمادة الذكية المتذكرة للشكل التى تتأثر بالحرارة عند التعرض للمحفز حيث يتمدد الهيكل الديناميكى بشكل رأسي ويصبح كالشريط الممتد مما يؤدى لغلق الستارة فى الاتجاه الرأسي من أعلى لأسفل.

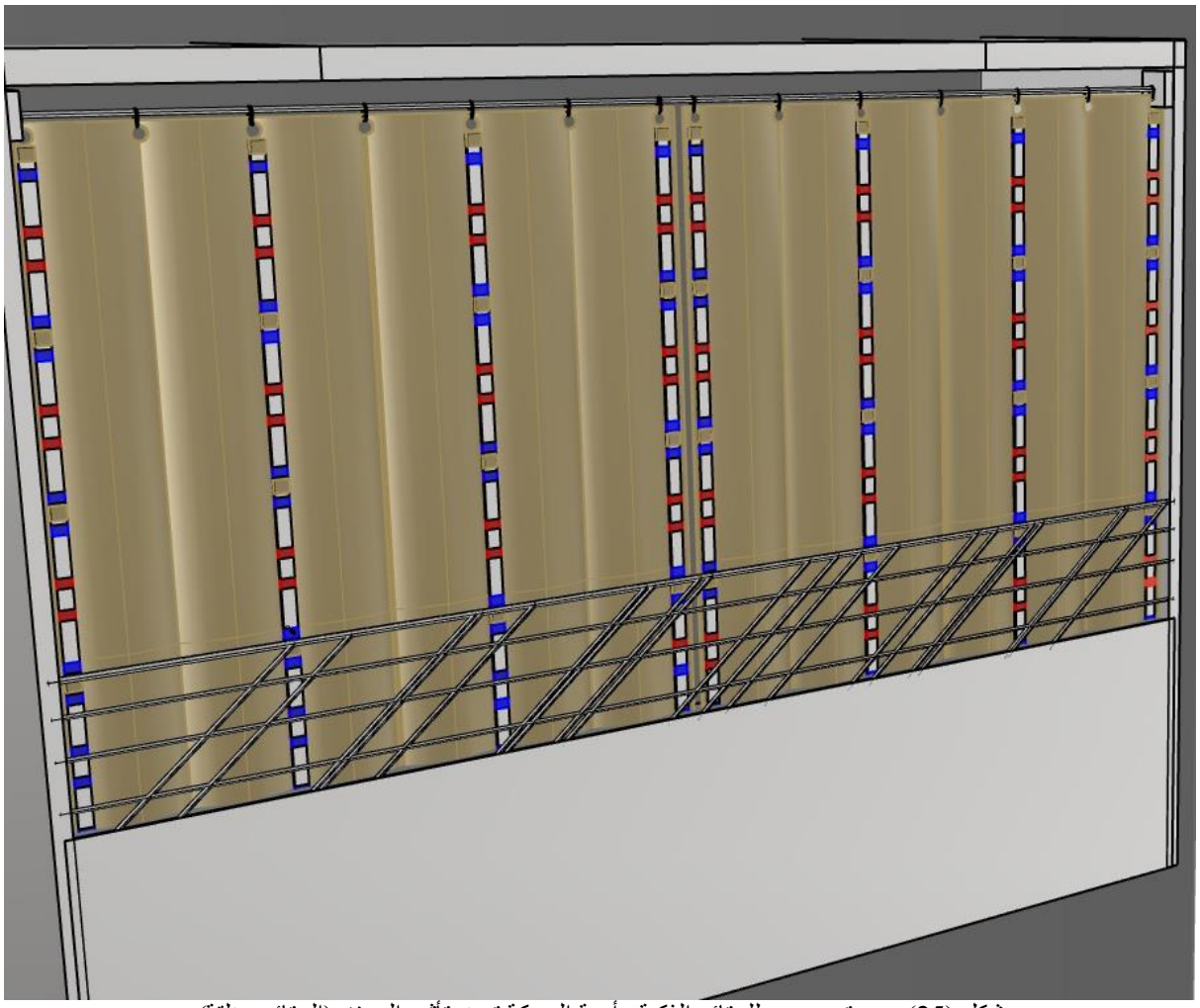
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (23) يوضح الشكل نموذج آخر للهيكل الديناميكى رباعى الابعاد وهو فى حالته الاصلية (1 الستائر مفتوحة) وعند التعرض لمحفز (2 الستائر مغلقة)

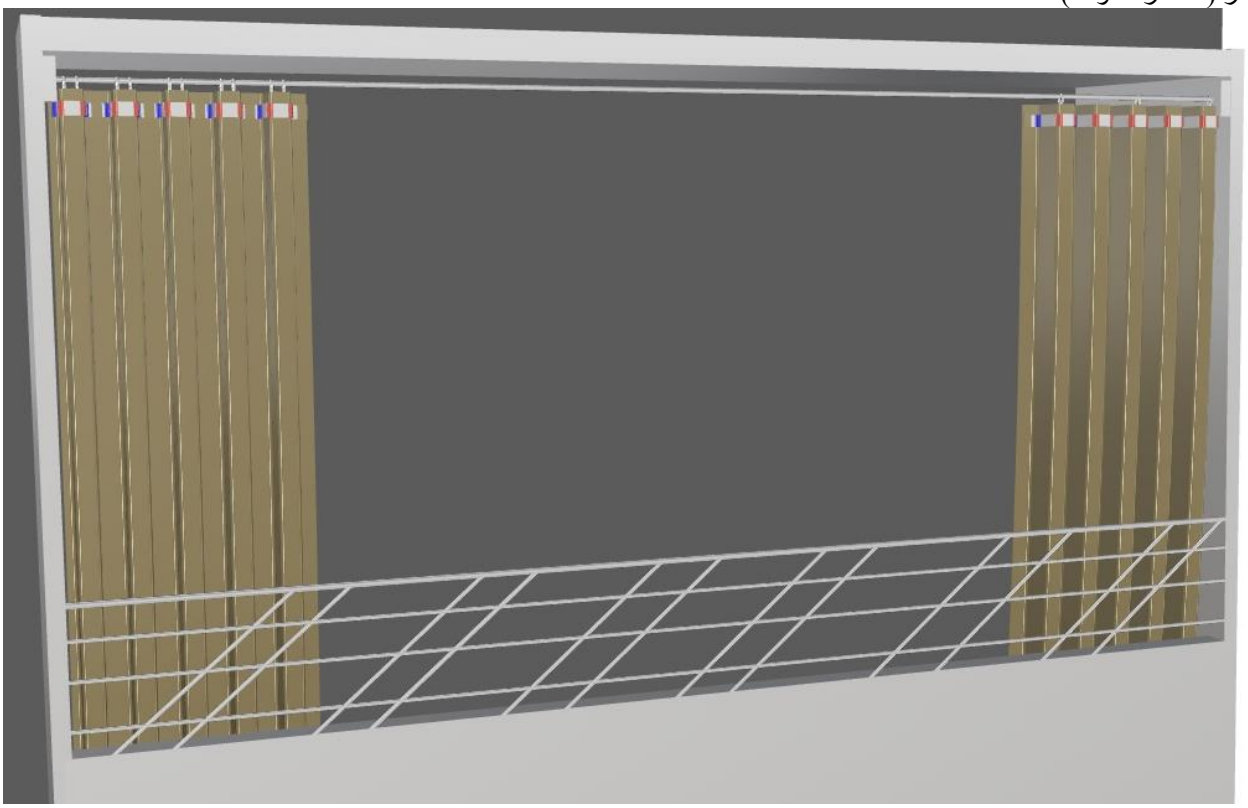


شكل (24) رسم توضيحى للستائر الذكية رأسية الحركة وهى مفتوحة فى حالتها الاصلية بدون محفز

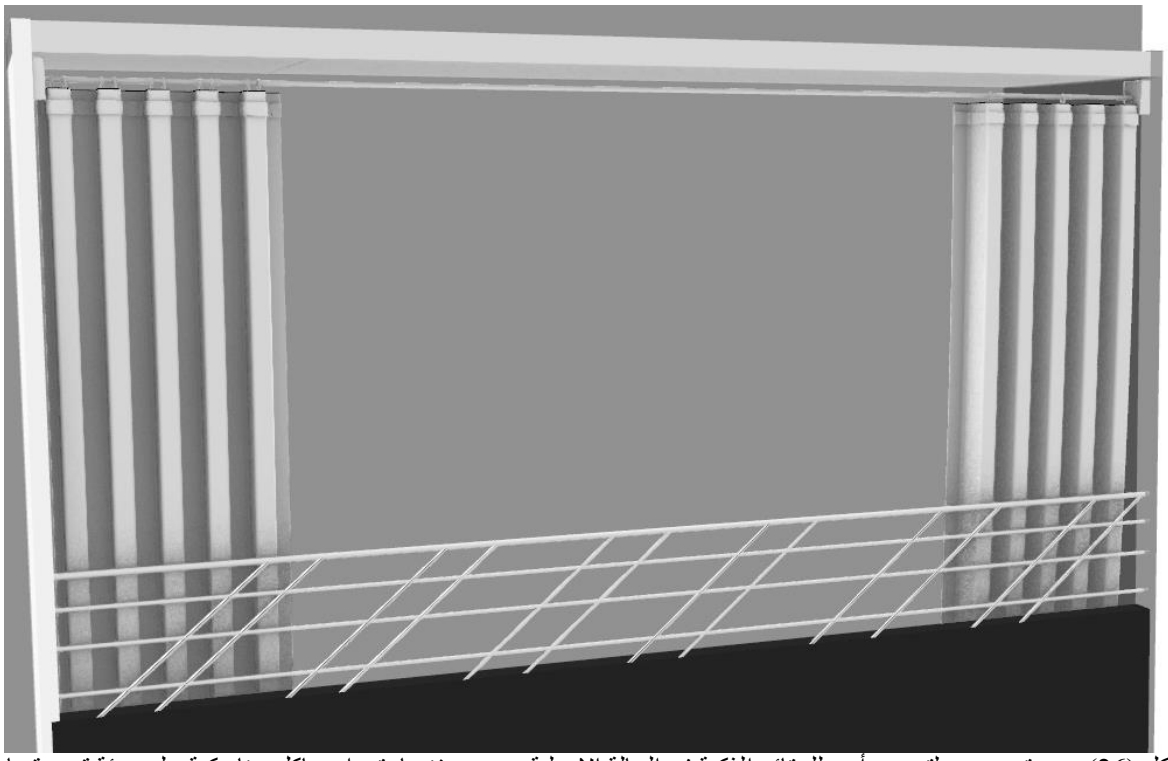


شكل (25) رسم توضيحى للستائر الذكية رأسية الحركة تحت تأثير المحفز (الستائر مغلقة)

يوضح الشكل (26) تصميم أخر للستائر أفقية الحركة بإستخدام الهياكل الديناميكية المطبوعة على هيئة قمم وقيعان فى حالتها الاصلية بدون محفز (الستائر مفتوحة)

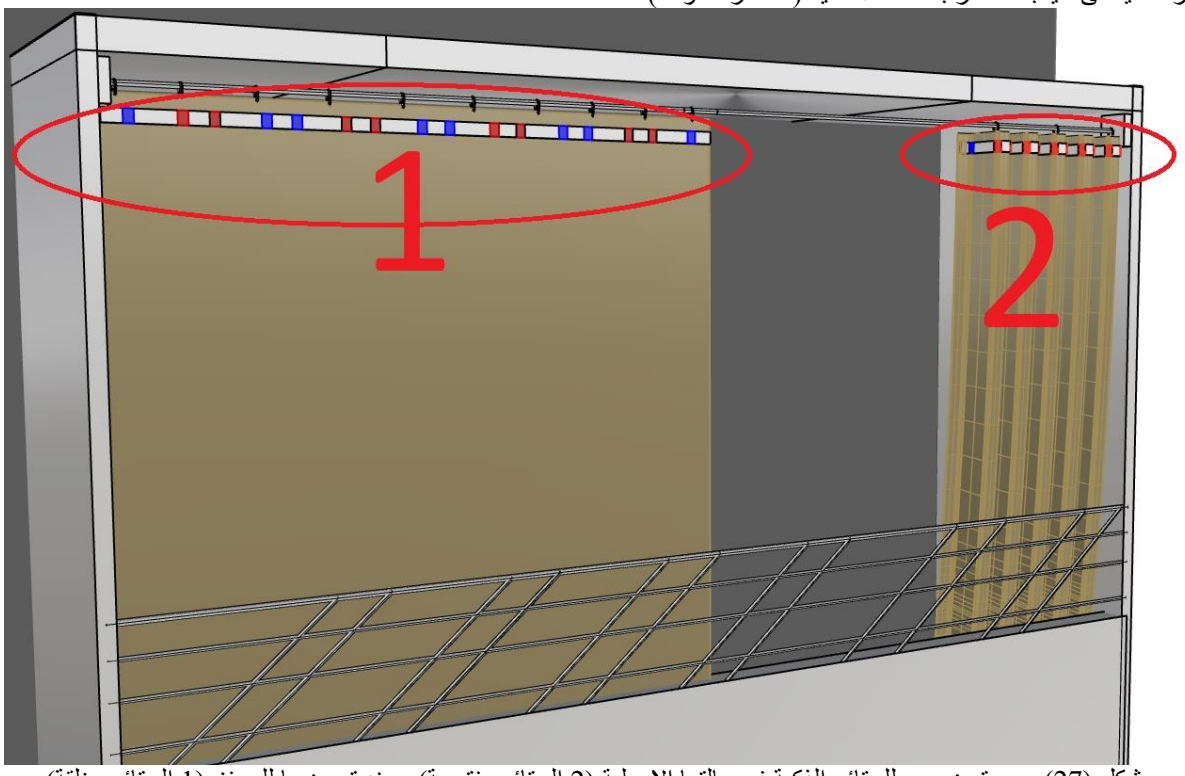


This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



شكل (26) رسم توضيحى لتصميم أخر للستائر الذكية فى الحالة الاصلية بدون محفز بإستخدام هياكل ديناميكية على هيئة قمم وقيعان

يوضح رقم (1) فى الشكل (27) الهيكل الديناميكى للستائر الذكية تحت تأثير المحفز (الستائر مغلقة)، بينما يوضح رقم (2) الهيكل الديناميكى للستائر الذكية فى غياب المحفز بالحالة الأصلية (الستائر مفتوحة)



شكل (27) رسم توضيحى للستائر الذكية فى حالتها الاصلية (2 الستائر مفتوحة) وعند تعرضها للمحفز (1 الستائر مغلقة)

النتائج: Results

تتضمن بعض التطبيقات المحتملة للستائر المطبوعة رباعية الأبعاد ما يلي:

1- ستائر تفتح وتغلق تلقائيًا حسب درجة الحرارة أو مستويات الضوء.
2- الستائر التي يتغير شكلها أو نمطها استجابة للحرارة
3- ستائر يمكن ضغطها بسهولة للتخزين ومن ثم توسيعها إلى حجمها الكامل عند الحاجة
4- القدرة على برمجة الستارة للتغيير بشكل مستقل مع مرور الوقت دون الحاجة إلى أجزاء ميكانيكية خارجية، وإمكانية ضغط الستارة إلى حجم أصغر بكثير للتخزين أو الشحن.
5- استخدام المواد الذكية يؤدى إلى بساطة الحركة والتصنيع واستغلال الطاقة المتجددة
6- يمكن الاستفادة من سلوك السبائك المتذكرة للشكل (SMAs) فى تطبيقات مجال الطاقة المتجددة.
7- الاستفادة من تكنولوجيا الطباعة رباعية الابعاد فى خدمة ذوى

الاحتياجات الخاصة والمساعدة فى تحسين صحتهم

8- تختلف القوة الميكانيكية للمواد المطبوعة رباعية الابعاد وسرعة الاستجابة للمحفز تبعا لنوع المادة الذكية المستخدمة

التوصيات: Recommendation

1- السعى نحو تفعيل إستخدام الطباعة رباعية الأبعاد على نطاق واسع ف شتى المجالات من خلال توفير المواد الذكيه فى مصر للإستفادة من إمكانياتها فى خدمة المجتمع .

2- الإتجاه نحو طباعة وتصنيع منتجات ذاتيه الإستخدام كمساعدة لغير القادرين أو ذوى الإحتياجات الخاصة لمزاولة حياتهم بشكل مستقل ودون الحاجة إلى تدخل بشرى .

3- الإتجاه نحو إنتاج وتصنيع منتجات قادرة على التحكم فى الظروف البيئية المحيطة من ضغط أو رطوبة أو درجة حرارة وتطويعها للإستخدامات المتعددة.

4- إنطلاقا من التركيز على التصميم المستدام، واختيار المواد المسؤولة، والإنتاج الموفر للطاقة، يمكن للطباعة رباعية الأبعاد أن تلعب دوراً في بناء مستقبل أكثر استدامة وكفاءة في استخدام الموارد.

5- لا تزال تكنولوجيا الطباعة رباعية الأبعاد في مراحلها الأولى من التطوير، وقد يتطلب اعتمادها على نطاق واسع استثمارات في البحث والتطوير. كما تعتمد فعالية الطباعة رباعية الأبعاد أيضًا من حيث التكلفة على عوامل مثل تكاليف المواد والمعدات وقابلية التوسع.

المراجع: References

1- Farhang Momeni ,Seyed M.Mehdi Hassani. N, Xun Liu & Jun Ni, A Review Of 4D Printing , Materials & Design Volume 122, 15 May 2017, USA

2- Aamir Ahmed, Sandeep Arya a, Vinay Gupta b, Hidemitsu Furukawa c & Ajit Khosla c, 4D printing: Fundamentals, materials, applications and challenges, Journals & Books , Volume 228, 16 July 2021

3- Xue Wan, Lan Luo, Yanju Liu, and Jinsong Leng, Direct Ink Writing Based 4D Printing of Materials and Their Applications , KGaA, Weinheim , 2020

4- Kadri C. Atli, Luke Johnson , Meelad Ranaiefar, Raymundo Arróyave & Ibrahim Karaman, 4D Printing Of Metallic Functional Materials, Texas A&M University, University Of Virginia , 2020

5- Zhizhou Zhang , Kahraman G. Demir and Grace X. Gu, Developments in 4D-printing: a review on current smart materials, technologies, and applications, University of California, Berkeley, CA, USA, 2019

6- Nkosilathi Zinti Nkomo, A Review Of 4D Printing Technology And Future Trends , South Africa , 2018

7- Ankur Bajpai, Anna Baigent , Sakshika Raghav, Conchúr Ó. Brádaigh, Vasileios Koutsos and Norbert Radacsi , 4D Printing: Materials, Technologies, and Future Applications in the Biomedical Field , UK , 2020

8- Reddy Sreenivasulu , Smart Materials for 4D Printing: A Review on Developments, Challenges and Applications , india, 2021

9- Antreas Kantaros, Theodore Ganetsos and Dimitrios Piromalis, 4D Printing: Technology Overview and Smart Materials Utilized , Journal of Mechatronics and Robotics 2023, Volume 7, Greece , 2023

10- Stanislav Sikulskyi , Aryslan Malik & Daewon Kim, Magnetorheological Fluid Filled Spring for Variable Stiffness and Damping: Current and Potential Performance, United States , 2022

11- Richard Spontak,, New 'bottlebrush' electroactive polymers make dielectric elastomers increasingly viable for use in devices, North Carolina State University, 2016

12- Amelia Yilin Lee, Jia An, Chee Kai Chua, Yi Zhang,Preliminary Investigation of the Reversible 4D Printing of a Dual-Layer Component,Engineering,Volume 5, Issue 6,2019

13- Marcalee Alexander, Jagger Alexander, Mohit Arora, Chloe Slocum, and James Middleton, A bellweather for climate change and disability: educational needs of rehabilitation professionals regarding disaster management and spinal cord injuries, Britain, 2019

14- Jaronie Mohd Jani , M. Leary & Aleksandar Subic, A review of shape memory alloy research, applications and opportunities, Australia ,2014

15- https://udservices.org/which-term-use-people-with-disabilities/

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