OPEN ACCESS
Crossref DOI: https://doi.org/10.35560/jcofarts107/345-366

Functional variables of responsive materials in product design

Wamedh Abdulkareem Muhsin[1]

Al-Academy Journal-Issue 107 ISSN(Online) 2523-2029/ ISSN(Print) 1819-5229
Date of receipt: 21/9/2022 Date of acceptance: 8/11/2022 Date of publication: 15/3/2023

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

Abstract:

The research discussed the topic of the functional role of responsive materials in being elements of a functional transformation in the design of industrial products, based on the study of the structures of smart materials and their performance capabilities at the level of action and self-reaction that characterize this type of materials.

Basic features of responsive materials have been identified to be elements of self-functional insertion into the industrial product design, which contributes to raising the efficiency and functional capacity of the industrial product and enhancing the ability of products to perform self-acting interactions in the structural structure of the material structure of the product and its ability to respond and interact with context variables. environmental.

The responsive materials were classified into: electrical insulating materials, ceramics, piezoelectric polymers, shape memory alloys, shape memory polymers, thermoelectric materials, and electrical and magnetic fluids. And according to the cognitive propositions of research and discussion of methods and types of performance application of the characteristics of self-response materials in the design of industrial products that have the ability to self-response, a number of scientific conclusions were reached, which were, in their entirety, a scientific analysis of what and how of the design application of the characteristics of responsive materials in creating new functions in Industrial product design.

Keywords: Functional variables, responsive materials, industrial product

(1) University of Baghdad / College of Fine Arts. wameedh.muhsin@cofarts.uobaghdad.edu.iq

المتغيرات الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية في تصميم المنتج الصناعي

وميض عبد الكريم محسن[1]

ملخص

ناقش البحث موضوع الدور الوظيفي لمواد الاستجابة الذاتية في كونها عناصر تحول وظيفي في تصميم المنتجات الصناعية انطلاقا من دراسة بنى المواد الذكية وقدراتها الادائية على مستوى الفعل ورد الفعل الذاتي الذي يتميز به هذا النوع من المواد. اذ تم تحديد سمات اساسية لمواد الاستجابة الذاتية لتكون عناصر ادخال وظيفي ذاتي في تصميم المنتج الصناعي مما يساهم في رفع كفاءة وقدرة المنتج الصناعي الوظيفية وتعزيز امكانية المنتجات على القيام بأفعال ذاتية تدخل في التركيب الهيكلي لبنية المادة التي يتكون منها المنتج وقدرته على الاستجابة والتفاعل مع متغيرات السياق البيئي. وتم تصنيف مواد الاستجابة الذاتية الى: المواد العازلة للكهرباء و السيراميك والبوليمرات الكهروضغطية و سبائك الذاكرة الشكلية و بوليمرات الذاكرة الشكلية المواد الكهروحرارية و السوائل الكهربائية والمغناطيسية. وعلى وفق الطروحات المعرفية للبحث ومناقشة اساليب وانواع التطبيق الادائي لخصائص لمواد الاستجابة الذاتية في تصميم منتجات صناعية تملك القدرة على الاستجابة الذاتية، تم التوصل الى عدد من الاستنتاجات العلمية والتي كانت في مجملها تحليلا علميا لماهيات وكيفيات التطبيق التصميمي لخصائص مواد الاستجابة الذاتية في تكوين وظائف جديدة في تصميم المنتجات الصناعية.

الكلمات المفتاحية: المتغيرات الوظيفية، مواد الاستجابة الذاتية، المنتج الصناعي.

مدخل

لطالما سيطر نهج تقني بحت على اختيار المواد في التصميم وتطوير المنتجات، مع التركيز بشكل أساسي على الخصائص والأداء. اذ تشكل المواد المظهر المادي للمنتج، واختيار المواد المناسبة أمر أساسي لكيفية عمل المنتج وكيف سيتم تقييمه من قبل المستخدم.

في العقود الماضية، حققت علوم المواد تطورات واكتشافات تكنولوجية غيرت بشكل جذري دور المنتجات الاستهلاكية في الحياة اليومية. ونتيجة لذلك، أصبحت التكنولوجيا بشكل تدريجي جزءًا لا يتجزأ من الحياة اليومية وتكتسب المنتجات بشكل متزايد الوعي بالسياق والاستجابة وقدرات التعاون. ولذلك فمن المشروع افتراض أن المنتجات التقنية يمكن اعتبارها "عناصر حية" فيما يتعلق بالمستوى المتزايد من النشاط الذاتي الممنوح لها وإلى درجة الإجراءات التي يمكن أن تؤديها. اذ يتم تشكيل المواد في منتجات، لكن المواد هي أكثر من مجرد شيء ملموس يتجسد منها التصميم ويمكن اعتبارها بالأحرى عنصرًا تكامليًا للشكل والوظيفة والتغيير والتطوير.

[1] كلية الفنون الجميلة-جامعة بغداد، wameedh.muhsin@cofarts.uobaghdad.edu.iq

في الخطاب البحثي الحديث، حظي دور المادة باهتمام ملحوظ. لقد تم اقتراح أنه نظرًا لتأثيرها الكبير، ينبغي الاعتراف بالمواد كمشارك نشط، بدلاً من كونها عنصرًا سلبيًا غير بشري. وبناءً على ذلك، تصبح المادة عاملاً فعالاً نتيجة لقدرتها على التأثير على تفكيرنا وصنعنا(Aluqaily & Mahmood, 2015) . اذ ان البحث ينطلق من مفهوم جوهري، هو اننا ينبغي ان نفهم المواد على أنها كيان نابض بالحياة، وأن المواد المختلفة لها قوى مختلفة، مما يسمح لها باكتساب صفات داخل وجودها المستقل أو المشترك مع مواد وعناصر تكوين اخرى.

مشكلة البحث

أصبح تعريف المواد في التصميم اليوم أكثر شمولاً من أي وقت مضى. اذ يضيف المصممون إمكانية البرمجة الحاسوبية إلى المواد التقليدية مثل الخشب واللدائن لتطوير تركيبات المواد التي تكون أكثر تعبيرًا في الشكل والوظيفة. ففي حين أن انتشار المواد الجديدة والتقنيات المطورة حديثًا يوفر نطاقًا واسعًا من الإمكانات للمصممين لإنشاء مفاهيم ومنتجات لم يكن من الممكن تخيلها من قبل، يحتاج المصممون اليوم إلى البحث عن الأساليب والاستراتيجيات والأدوات المناسبة للعمل مع المواد الجديدة التي تتغير أو تنمو أو تستجيب بشكل مختلف للبيئة أو المواد الأخرى.

تعمل التحولات التكنولوجية المعاصرة جنبًا إلى جنب مع مواد الاستجابة الذاتية المطورة حديثًا على تغيير طريقة التفكير وتصميم المنتجات وكيف يرتبط التركيب المادي بأداء وظائف معينة تعتمد على البنية الجزيئية للمادة. اذ تختلف مواد الاستجابة الذاتية اختلافًا جذريًا عن المواد التقليدية. فهي نشطة وحساسة ومتفاعلة مع المحفزات المختلفة، مثل تعديلات الظروف الخارجية من حولها (درجة الحرارة، الرطوبة، الضوء، الكهرباء، المغناطيسية، الضغط، المواد الكيميائية، إلخ)، والتي تستجيب طالما كان هناك محفز خارجي او داخلي. لذلك فهي تفاعلية بطبيعتها. اذ يعتمد تفاعلها على عمليات التفاعل الفيزيائية والكيميائية التي تحدث على المستوى الجزيئي. فمواد الاستجابة الذاتية تتصرف ضمن سلوك محدد مسبقًا مع تأثيرات ادائية يمكن ان تستغل لتصميم وظائف المنتج الصناعي، او اثراء الوظيفة بما يحقق مدخلا جديدا لتصميم وظائف المنتجات انطلاقا من التركيب الهيكلي للمادة وقدرتها على الاستجابة والتفاعل. وعلى وفق ذلك فان سؤال البحث يتحدد بالتالي:

- **ما هي اطر الذكاء المطبق في تصميم المواد؟ وما هي كيفيات تطبيقها في تصميم منتجات صناعية تملك القدرة على الاستجابة الذاتية لمتغيرات وظيفة المنتج الصناعي؟**

اهمية البحث

تنطلق اهمية البحث في بيان كيفيات انشاء مواد الاستجابة الذاتية وكيفيات تركيبها المادي واطر استجابتها الوظيفية. مما يوفر مدخلا معرفيا للمصمم الصناعي في تبني قدراتها الادائية في تعزيز واثراء وظائف المنتجات الصناعية. ولطالما كانت المشاركة الصريحة في بناء فهم للتكنولوجيا الذكية نفسها كمواد للتصميم محدودة. اذ إن فهم التكنولوجيا الذكية كمواد للتصميم من شأنه أن يسمح بمزيد من التفصيل والنقد والتفكير في التفاعلات الحالية معها. علاوة على ذلك، بالنظر إلى كيفية دمج التكنولوجيا الذكية في الأجهزة والمنتجات الصناعية، فإن فهمها كمواد للتصميم يمكن أن يسمح لنا بتشكيلها بشكل أكثر فاعلية بالمقارنة مع المواد العادية الأخرى. وبالتالي، فإن مثل هذا الفهم من شأنه أن يساعد في تأطير مساحة

تصميم التكنولوجيا الذكية لممارسة التصميم والاستكشاف. فضلا عن التأكيد أيضًا على أهمية فهم المواد التفاعلية وأهميتها النسبية في "المنعطف المادي" الأخير لبحوث التصميم والذي استكشف مجالات مثل المواد الحسابية والأهمية المادية للمنتجات الصناعية في الحياة اليومية.

هدف البحث

يهدف البحث الى: **تحديد ميزات وسمات مواد الاستجابة الذاتية, وكيفيات تطبيقها في الاداء الوظيفي للمنتج الصناعي.**

حدود البحث

تحدد البحث بدراسة المتغيرات الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية في عدد من المنتجات المصممة وظائفها انطلاقا من متغيرات هذه المواد للأعوام 2020-2022.

تعريف المصطلحات

مواد الاستجابة الذاتية: هي مجموعة من المواد لها خصائص ديناميكية خاصة تميزها عن المواد "التقليدية" (AKIN, 2009, p. 12). هذه الخصائص هي: "الزوال والانتقائية والفورية والتشغيل الذاتي والمباشرة. علاوة على ذلك، يمكن أن تتمتع بإمكانيات تغيير الخصائص، وتبادل الطاقة، والحجم والموقع المنفصلين، وقابلية الانعكاس" (Addington & Schodek, 2005, p. 10). إلى جانب هذه الخصائص، يمكن تعريف مواد الاستجابة الذاتية على أنها تلك المواد "التي يمكنها الإحساس بالبيئة المحيطة والاستجابة لها بطريقة مفيدة ويمكن التنبؤ بها" (Parliamentary Office of Science and Technology, 2008, p. 1).

الوظيفة: ان "وظيفة المنتج هي ما يفعله المنتج" (Ulrich, 1995, p. 422).وهي تمثل"العلاقات الوظيفية والهيكلية والتسلسل الهرمي للمنتج والأجزاء المكونة له" (Baumberger, 2007, p. 99). وهي "وصف مادي لكيانات النظام وعلاقات الفعل بين تلك الكيانات" (Crawley, 2004, p. 27).

الطروحات الادبية

المادة وسماتها الانشائية في تصميم المنتج الصناعي

على الرغم من سهولة تعريف مصطلح "مادة"، إلا أنه قد يخلق بعض مشاكل الفهم نيابة عن المتخصصين الذين يستخدمونه. تحقيقًا لهذه الغاية، من الأولويات الوصول إلى تعريف شامل لماهية المادة. اذ تمت الإشارة إلى المصطلح في قاموس أوكسفورد الإنجليزي الذي استشهد به Schwartz على أنه "المادة التي يتكون منها الشيء" (Schwartz, 2002, p. 5). اذ نرى ان العلاقة بين "الشيء" و "المادة" في هذا التعريف تتشكل بمصطلح "صنع" الذي يشير إلى الطريقة التي تتحول بها المادة إلى منتج. وتفهم الطريقة على أنها سلسلة من عمليات التصنيع التي يتم تطبيقها بشكل خلاق لتحويل المادة إلى شيء لاستخدام معين. لذلك، فإن الإلهام مطلوب في عملية تجسيد أفكار المنتج. وهذا هو المكان الذي يقدم فيه المصممون مدخلات كبيرة في تطوير المنتج(Abbas, 2016) .

في التصميم، تنشأ معرفة التصنيع من الخبرات التي تتولد من خلال التفاعلات مع المادة والبيئة. كما أن التحولات المادية هي جوهر التكوين التصميمي (Aktaş & Mäkelä, 2019, p. 55). وعندما تصبح المادة وسيطًا لتعكس المعرفة المتجسدة، فإنها تقوم بإعلام عملية صنع المعلومات ونقلها بشكل فعال. وفي هذه

الأنواع من الأساليب، لا يُنظر إلى المادة على أنها عنصر ثابت ولكن كمشارك نشط لديه القدرة على تنفيذ إجراء ما(Mäkelä & Löytönen , 2017) .

في سياق التصنيع، يشير مفهوم الوسيط إلى قدرة وقوة المواد للتأثير على عمليات التصنيع والتصميم. بالنظر إلى القوة التوسيطية للمادة والعلاقة بين المعرفة المادية والمتجسدة، فإن دراسة تحولات المادة يمكن أن تنقل رؤى جديدة حول معرفة كيفية التشكيل والافادة من متغيرات وخصائص المواد (shalal & Loken, 2020). ونظرًا لأن العمل المشترك المتبادل بين المصممين والمواد لا يؤدي فقط إلى الظهور المشترك لمنتج معين، ولكن من خلال التغلب على المقاومة المادية في ظروف مختلفة بطرق مختلفة، فإنه يشكل أيضًا أساسًا للتطور المادي الجديد، وإنتاج المعرفة الجديدة والتكوينات التصميمية الجديدة (Pickering, 2005, p. 12).

في نموذج (Hodgson & Harper) للشكل والوظيفة والتصنيع (مخطط-1)، يتم توسيع العناصر الثلاثة للشكل والوظيفة والتصنيع للنظر في نطاق أكثر تفصيلاً من عشر سمات للمنتجات المتعلقة بالمواد والتي يتم من خلالها تحقيق هذه العناصر. تحدد هذه بدورها في النهاية كلاً من "تكلفة" و "قيمة" المنتج، والتي ينبغي أن تتوافق في النهاية مع الاحتياجات أو طلب السوق. تكمن قوة نموذج (Hodgson & Harper) في النهج الشامل للمواد والتصنيع في عملية التصميم. يتعامل النموذج مع كيفية ارتباط السمات ببعضها الاخر وبالسياق المحيط بها. ويدعم النموذج متخصص التصميم في التفكير في كل من إمكانات وعواقب كل سمة من سمات المادة. اذ ينبغي النظر إلى هذه السمات في سياق حاجة المستخدم للمنتج. ويتم تحديد ذلك من خلال العوامل التي تشكل "قيمة" المنتج للمستهلكين المتوازنة "بتكاليف" المنتج (على النحو المحدد في تكاليف التصنيع). اذ تم تطوير النموذج كرد فعل ضد الطريقة التقليدية لتدريس اختيار المواد في تعليم التصميم. ومن خلال دمج التكلفة والقيمة، فإنه يعكس سيناريو واقعي يمكن أن يدعم المصممين المحترفين أيضًا(Hodgson & Harper, 2004) .

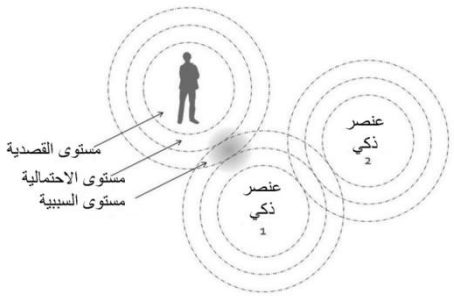
مخطط (1) نموذج الشكل والوظيفة والتصنيع ، الذي يصف العلاقة بين المواد و عناصر التصميم والتصنيع.
(Hodgson & Harper, 2004)

مواد الاستجابة الذاتية بوصفها عناصر تشكيل في تصميم المنتج الصناعي

يعرّف Mühlhäuser التكنولوجيا الذكية على أنها كيان -كائن ملموس- تم تصميمه وصنعه للتضمين الذاتي التنظيم في بيئات (ذكية) مختلفة خلال دورة حياته، مما يوفر بساطة وانفتاحًا محسنين من خلال تفاعل محسّن عن طريق الوعي بالسياق والوصف الذاتي الدلالي والسلوك الاستباقي والواجهات الطبيعية متعددة الوسائط وتخطيط الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي (Mühlhäuser, 2007, p. 163).

ومن جانب اخر، تعرّف وكالة ناسا مواد الاستجابة الذاتية على أنها "مواد" "تتذكر" التكوينات ويمكن أن تتوافق معها عند إعطائها حافزًا محددًا. اما موسوعة التكنولوجيا الكيميائية فإنها تعرف مواد الاستجابة الذاتية بانها: " تلك الأشياء التي تستشعر الأحداث البيئية، وتعالج تلك المعلومات الحسية، ثم تستجيب للبيئة" (Al-Baldawi, 2015, p. 6). اذ يشير مصطلح "مواد الاستجابة الذاتية" إلى "جيل من المواد المهندسة التي لها خصائص قابلة للتغيير وقادرة على تغيير شكلها أو لونها بشكل عكسي استجابة للتأثيرات الفيزيائية أو الكيميائية، على سبيل المثال الضوء أو درجة الحرارة أو تطبيق مجال كهربائي"(Ritter, 2007) .

اذ يمثل مفهوم مواد الاستجابة الذاتية ان هناك ثلاثة مستويات للفعل: المستوى الأول حيث يتم إنتاج اختلاف في الحالة، والمستوى الثاني حيث يتم توضيح اختلاف الخيارات، والمستوى الثالث حيث يمكن للفاعل تقديم تفسير. ويمكننا تبسيط المستويات الثلاثة هذه على النحو التالي: أفعل وأقرر وأفهم. والتي يمكن تفسيرها على أنها مستويات مختلفة من الفاعلية، تسمى على التوالي "السببية" "والاحتمالية" و "القصد". وبالتالي، فإن كوكبة المواد التي تم إنشاؤها بواسطة العدد المتزايد من الأجهزة المترابطة تعتبر قادرة على تعظيم تبادل المعلومات بين الإنسان - الإنسان والانسان - البيئة على المستوى الأساسي للسببية التي سيحولها الفاعل البشري في النهاية إلى إجراءات إرادية. اذ قد يغير الذكاء المضمّن في البنية التركيبية للمواد الطريقة التي يصمم بها المصممون المنتجات ويطورونها، حيث لن يقتصر الأمر على الشكل المادي للمنتج فحسب، بل يتعلق بالميزات غير الملموسة القادرة على تحقيق حالة الاحتمالية والقصد لدى مواد الاستجابة الذاتية (MICOCCI, SPINELLI, & AJOVALASIT, 2016, p. 2). وكما موضح في الشكل التالي.



شكل (1) يوضح ثلاثة مستويات من "الإجراءات" وتفاعلها على "مستوى السببية"
(MICOCCI, SPINELLI, & AJOVALASIT, 2016, p. 6)

ميزات وسمات مواد الاستجابة الذاتية

يُعد عالم مواد الاستجابة الذاتية مجالًا غير مكتشفًا أو بكرًا نسبيًا للدراسة، لذا فمن المؤكد أن ميزات أو خصائص مواد الاستجابة الذاتية لم يتم استكشافها بشكل جيد بعد. اذ يتم تصوير هذا النوع من المواد على أنها "امتداد منطقي للمسار في تطوير المواد نحو أداء أكثر انتقائية وتخصصًا" (Addington & Schodek, 2005, p. 3). ولتسهيل الابتكارات التصميمية وفتح فرص جديدة للمنتجات، ينبغي أن يكون المصممين قادرين على فهم الخصائص أو الميزات الأساسية لمواد الاستجابة الذاتية.

فيما يتعلق بميزات وخصائص ومواصفات مواد الاستجابة الذاتية، يمكن عمل تصوير واسع بالإشارة إلى بعض القواسم المشتركة. وكما يشير (Newnham and Gregory)، "أن مواد الاستجابة الذاتية يمكن أن تعمل مثل الأعضاء البشرية من حيث أنها "مماثلة للأنظمة البيولوجية". هذا يعني أنهم لا يجذبون حواس الإنسان فقط لأن لديهم خصائص حسية، ولكن لديهم أيضًا القدرة على "الإحساس" و "التذكر". كما أنها تستجيب للمحفزات البيئية، ولديها قدرات تحفيزية في حد ذاتها، وفي النهاية تعتبر أنظمة ذكية" (Newnham & Gregory, 1991, p. 463).

بالطبع، من خلال التصرف كما لو كانوا كائنات عضوية تكشف مواد الاستجابة الذاتية عن استجابات بيولوجية لبيئتهم، فإن مواد الاستجابة الذاتية لها أوجه تشابه مع الاستجابات البشرية. اذ يمكن لهذه المواد أن تعمل مثل "آذان تستشعر الأسماك بها الاهتزازات" (كما في حالة الهيدروفونات الكهروضغطية* piezoelectric hydrophones) ؛ أو يمكن أن تكون مثل "أنف بشري" (كما في حالة أجهزة الاستشعار الكيميائية). ومع ذلك، ربما تكون الخاصية الأكثر لفتًا للانتباه التي تمتلكها مواد الاستجابة الذاتية هي الذاكرة، وهي القدرة على "التذكر". ومن الأمثلة المعروفة جيدًا هي مواد الذاكرة الشكلية: والتي يمكن أن تتشوه بشكل كبير تحت الحمل الخارجي، ولكن عند تفريغها تعود إلى شكلها الأصلي. هذه الخاصية تتجاوز مجرد توفير المعلومات الحسية: فهي قائمة على الوقت ومتكررة. لذلك، تقدم لنا مواد الاستجابة الذاتية ميزات وخصائص اكبر بكثير من المواد التقليدية من خلال التعاون مع القدرات البشرية للإبداع " (Olson, 2000, p. 998).

* هو ميكروفون مصمم ليتم استخدامه تحت الماء للتسجيل أو الاستماع إلى صوت تحت الماء. تعتمد معظم الهيدروفونات على محول طاقة كهرضغطية يولد جهدًا كهربائيًا عند تعرضه لتغير في الضغط ، مثل الموجة الصوتية. يمكن أيضًا أن تعمل بعض محولات الطاقة الكهرواجهادية كجهاز عرض صوتي ، ولكن لا تتمتع جميعها بهذه الإمكانية ، وقد يتم تدمير بعضها إذا تم استخدامها بهذه الطريقة. يتكون الميكروفون من غلاف يتم من خلاله تركيب ركيزة موصلة ويتم تركيب بلورة كهرضغطية (سيراميك أو بولي فينيلدين فلوريد ، PVDF) على السطح الخارجي من الركيزة. اذ تزيد الركيزة الموصلة الكتلة وتحد من الرنين عند تردد الرنين للبلورة الكهروضغطية. ويتم استخدام بلورة كهروضغطية بسبب حقيقة أن المعاوقة الصوتية تتطابق مع مقاومة البلورة. لذلك ، فهو يسهل استخدامه في التطبيقات تحت الماء. دائمًا ما يتم ملء الحجم بين الغلاف والركيزة بسائل. ويفضل استخدام الزيت. (Soni, 2017, p. 1)

الخصائص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

من المرجح أن يكون استخدام مواد الاستجابة الذاتية حلاً لتجاوز القيود في عالم المواد التقليدية الحالية وتاريخها المادي. وعلاوة على ذلك، فإن اعتماد مواد الاستجابة الذاتية يمنح الأمل لعالم المستقبل الذي يهيمن فيه التفكير الإبداعي والتكوين الفكري والعاطفة والمشاعر الإنسانية(AlUqaily & Matar, 2019) . اذ تقدم مواد الاستجابة الذاتية حلولاً محدثة للعديد من الضروريات التي يتطلبها الاستخدام اليومي. وتجد أعدادًا متزايدة من مواد الاستجابة الذاتية طريقها إلى التطبيقات اليومية. ومن أجل تحقيق مثل هذا العالم المستقبلي، من الضروري بالتالي دراسة مواد الاستجابة الذاتية وخصائصها بدقة. اذ ان "بيئتنا المستقبلية ستتألف من أنظمة تفاعلية غير مرئية سيتم تضمينها في مساحات المعيشة والمنتجات التي نستخدمها في حياتنا اليومية، مما يخلق ذكاءً محيطًا يمكن أن يشكل جزءًا طبيعيًا من الحياة'. "فالوظيفة الذكية"، هي واحدة من أبرز خصائص مواد الاستجابة الذاتية التي تنطبق على العديد من جوانب الحياة اليومية، وبالتالي تتطور الثقافة المادية وتؤسس ثقافة "الخبرات الأكثر كثافة ومعاني الترتيب الأعلى. ومن ثم، فإن الانتقال من صنع منتج وتسويقه إلى تطوير مفاهيم غير ملموسة تلبي طلب احتياجات النظام الأعلى، مثل الأفكار، والاشباع الحسي والعاطفي، والتجارب الثقافية والترفيه الذي يحفز الفكر، يجري ويكتسب الزخم. اذ ستعمل مواد الاستجابة الذاتية على تحسين سيطرتنا على بيئتنا المادية وتسهيل تفاعلنا الإبداعي معها بينما نسعى إلى أن نكون مبتكرين مشاركين، ونصمم الخبرات لتتوافق مع حالاتنا المزاجية المختلفة" (Baurley, 2004, p. 275).

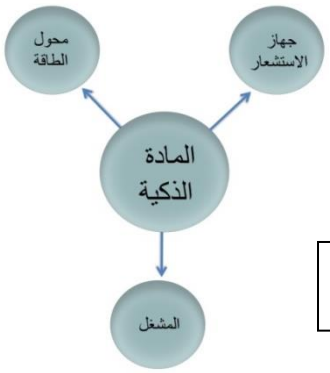
تحث المواد الجديدة المصمم على إجراء تفاعلات جديدة مع المستخدم. اذ يتم توصيل مثل هذه التفاعلات من خلال "[العلاقات] النفسية والرمزية، وهي تثير ردود فعل عاطفية، فضلاً عن ردود فعل عقلانية. ولا تحل مواد الاستجابة الذاتية محل المواد التقليدية فحسب، بل يمكنها أيضًا أن تكون بمثابة "تقنية" (Addington & Schodek, 2005, p. 29). من هذا المنطلق، فإن المقصود هو أن مواد الاستجابة الذاتية تمتلك مكونات بارامترية تشكل تقنية معينة بخصائصها وتؤدي وظائف محددة. وهنا ينبغي علينا أن نفهم أن تكنولوجيا مواد الاستجابة الذاتية تقدم طرقًا لتحديث التقنيات التقليدية أو المتعارف عليها وتحقيق أجيال جديدة من التطبيقات العملية.

يمكن تلبية الحاجة إلى تقنيات جديدة جزئيًا من خلال الخصائص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية. كفئة من المواد، فإنها تجعل من الممكن إعادة ابتكار الخصائص الفيزيائية أو الكيميائية الموجودة بالفعل (أو المبتكرة حديثًا) للمواد بحيث تصبح متعددة الأوجه. ويمكنها إنشاء علاقات وإمكانيات جديدة والحث عليها، أو يمكنها المساهمة في تطوير التكنولوجيا الحالية. وعلى وفق ذلك فان مواد الاستجابة الذاتية بخصائصها التقنية تتيح للمصمم في ايجاد اطر من الوظائف تعزز عمليات اداء المنتج الصناعي انطلاقا من عد الوظيفة التقنية لمواد الاستجابة الذاتية عنصرا من عناصر اثراء الوظيفة الكلية للمنتج الصناعي (Aluqaily & Abbood, 2020).

قبل أن نبدأ في التصميم الفعلي، من المهم أيضًا أن نعرف ليس فقط التسهيلات المتاحة للمستخدم، ولكن أيضًا معرفة قدر كبير من مدى ملاءمة المواد المختلفة للوظيفة المعينة. اذ ان "ملاءمة المواد المختلفة" هو

اعتبار رئيسي للتصميم والإنتاج، ومن خلال خصائص المواد يمكن تحديد مستوى الملاءمة لتصميم وظيفة معينة. ومن بين هذه الاستخدامات، يمكن أن تعمل مواد الاستجابة الذاتية كـ "أجهزة استشعار ومحولات طاقة ومشغلات". وقد تم تحديد هذه الأدوار الأساسية الثلاثة على وفق التالي (AKIN, 2009, p. 20):

- **جهاز الاستشعار**: يشير المستشعر إلى مجموعة تتكون من جهاز استشعار والإلكترونيات اللازمة التي تحول الإشارة الأساسية من المستشعر إلى شكل يمكن استخدامه أو مفهوم.
- **محول الطاقة**: عادة ما يكون محول الطاقة جهازًا يحول الطاقة من شكل إلى آخر، ويستخدم لغرض نقل الطاقة أو مراقبتها أو التحكم فيها.
- **المشغل**: هو جهاز يحول طاقة الإدخال في شكل إشارة إلى عمل ميكانيكي أو كيميائي. وكما في الشكل التالي:



مخطط (2) يوضح علاقات العناصر الاساسية للمواد الذكية
اعداد الباحث

فمواد الاستجابة الذاتية لها خصائص مفاهيمية تميزها عن المواد التقليدية. هذه الخصائص هي "الزوال والانتقائية والفورية والتفعيل الذاتي والمباشرة". والتي يمكن تعريف كل منها على وفق التالي (Addington & Schodek, 2005, p. 10):

- **الزوال**: في هذا الصدد، هو قدرة المادة الذكية على "الاستجابة" للمحفزات الخارجية التي تظهر "في أكثر من حالة بيئية واحدة"، وهي حالة أو صفة العبور بمرور الوقت أو كونها سريعة الزوال أو عابرة.
- **الانتقائية**: هي فعل الاختيار المتعمد لبعض الافعال أو الأشياء دون غيرها، بمعنى"استجابة" مادة ذكية "منفصلة ويمكن التنبؤ بها" على وفق حدود معينة ومختارة-مبرمجة.
- **الفورية**: مصطلح يشير إلى "الاستجابة في الوقت الفعلي" وهي نوعية إشراك المادة بشكل مباشر وفوري في فعل ما، مما يؤدي إلى الشعور بالمباشرة والدقة.
- **التفعيل الذاتي**: يعني ان "الذكاء داخليا وليس خارجيًا للمادة. بمعنى قدرة المادة على تنشيط نفسها وعلى وجه التحديد بدء التشغيل تلقائيًا - التنشيط الذاتي.
- **المباشرة**: تعني أن الاستجابة محلية للحدث "التنشيط"، وهي تعني نوعية العمل في اتجاه محدد دون انحراف.

انواع مواد الاستجابة الذاتية

تم تنفيذ مواد الاستجابة الذاتية على نطاق واسع في مجموعة متنوعة من الصناعات التي تشمل السيارات، والفضاء، والاستخدامات العسكرية، والطب الحيوي، والطاقة، والإلكترونيات، والصناعات الكيماوية. اذ تشمل الأنواع العامة من مواد الاستجابة الذاتية الكهرضغطية، والمغناطيسية، والكهرباء الحرارية، والكهروميكانيكية، والمواد الميكانيكية الضوئية، ومواد ذاكرة الشكل. وعلى الرغم من استخدام قدر كبير من مواد الاستجابة الذاتية على نطاق واسع في العديد من التطبيقات الهندسية، إلا أن هناك معلومات محدودة حول كيفية الاستخدام الفعال لهذه المواد، لا سيما عند مقارنة فئات هذه المواد مع بعضها الاخر. وعلاوة على ذلك، فإن التوثيق بشكل عام نادر وقديم ويفتقر إلى الاتصال بالنماذج الرياضية ولا يعكس التطورات الحديثة في تطور مواد الاستجابة الذاتية. وعلى وفق ذلك, يمكننا تحديد انواع مواد الاستجابة الذاتية المطبقة في تصميم المنتجات الصناعية ووظائفها الادائية بالتالي:

اولا: اللدائن العازلة للكهرباء Dielectric Elastomers: اللدائن العازلة هي احدى انواع مواد الاستجابة الذاتية، تحول الطاقة الكهربائية (الفولتية) مباشرة إلى طاقة ميكانيكية (إجهاد) وتنتمي إلى فئة من البوليمرات الكهرومغناطيسية. لقد ثبت أن مشغلات المطاط الصناعي العازلة توفر سلالات أكبر من الأنواع الأخرى من البوليمرات الكهربائية، وكثافة طاقة أعلى، وكفاءة كبيرة ووقت استجابة سريع. وهي مكونة من قطبين متوافقين وشريحة رقيقة من المطاط الصناعي بينهما(Wissler & Mazza, 2005) .

ثانيا: السيراميك والبوليمرات الكهروضغطية Piezoelectric Ceramics and Polymers: تأتي المواد الكهرضغطية على شكل سيراميك أو بوليمر. أكثر أنواع السيراميك استخدامًا هي تيتانات الزركونات الرصاصية Piezoelectric zirconate titanate . اذ عادة ما يتم تشكيل هذه المواد في تكوين مكدس أو رقاقة رفيعة، وتنتج إجهادًا أو تشوهًا ميكانيكيًا استجابةً للجهد المطبق (تأثير كهرضغطية معكوس). كما أنها تنتج شحنة عندما تواجه ضغطًا مطبقًا (تأثير كهرضغطية مباشر). يتكون المشغل الكهروإجهادي ثنائي الشكل من طبقتين سيراميك كهرضغطية رفيعتين ولوحة معدنية رقيقة سلبية بينهما. يتم لصقها باللوح المعدني باستخدام راتنجات الايبوكسي اللاصقة واتجاهات الاستقطاب لاثنين من تيتانات الزركونات الرصاصية، والتي يمكن تبديلها تحدد استجابة ثنائية الشكل (Granzow, Glinsek, & Defay, 2022, p. 22).

ثالثا: سبائك الذاكرة الشكلية Shape Memory Alloys: سبائك ذاكرة الشكل هي سبائك تمتلك القدرة على الخضوع لتشوه كبير في الشكل في درجات حرارة منخفضة والاحتفاظ بهذا التشوه حتى يتم تسخينها وتتجاوز درجة حرارتها درجة حرارة بداية الانتقال. يحدث هذا التغيير في الشكل المعروف باسم "تأثير ذاكرة الشكل" نتيجة لتغير في التركيب البلوري الذري للسبيكة (Brinson & Huang, 1996, p. 109).

رابعا: بوليمرات الذاكرة الشكلية Shape memory polymers: إن بوليمرات ذاكرة الشكل المستحثة حرارياً, عبارة عن مواد بوليمرية ذكية يمكن أن تتعرض للتشوه عند تسخينها فوق درجة حرارة انتقال الزجاج وتتعافى من الشكل المشوه إلى شكلها الأصلي المحفوظ عند تبريدها. عند درجات حرارة أقل من درجة حرارة التزجج، تكون بوليمرات الذاكرة الشكلية في طور زجاجي وتصبح صلبة بدرجة كافية لمقاومة التشوه. على العكس من ذلك، توجد بوليمرات الذاكرة الشكلية في طور مطاطي أعلى من درجة حرارة التزجج وتصبح

شديدة التشوه، مما يُظهر انخفاضًا كبيرًا في معامل التغير الخاص بها. تتمتع بوليمرات ذاكرة الشكل بالعديد من المزايا مقارنة بسبائك ذاكرة الشكل: فهي تتميز بكثافة أقل بكثير مما يُظهر إمكانية استرجاع شكلي كبيرة تصل إلى 400٪، وتكلفة تصنيع أرخص، وأقل كثافة. ومن ناحية أخرى، تولد بوليمرات ذاكرة الشكل قوى تشغيل واسترداد أقل بسبب خصائصها المادية (Thill, Etches, Bond, Potter, & Weaver, 2008).

خامسا: المواد الكهروحرارية Thermoelectrics: الزوجان الكهروحراريان عبارة عن زوج من أشباه الموصلات. اذ تتكون الوحدة الكهروحرارية من مجموعة من الأزواج الكهروحرارية المكونة حراريًا على التوازي والكهربائي على التوالي. اذ يتسبب اختلاف درجة الحرارة المطبق بين الجانبين العلوي والسفلي للوحدة الكهروحرارية في تدفق الحرارة عبر الأزواج الكهروحرارية ويحث على توليد الجهد. وبالتالي، يمكن أن تعمل المواد الكهروحرارية كمولدات للطاقة. ويمكن استخدام المواد الكهروحرارية أيضًا كمضخات حرارية، حيث يتسبب الجهد المطبق في امتصاص الحرارة من جانب وطردها من الجانب الآخر. ويمكن أن تعمل المضخة الحرارية في وضع التبريد أو التسخين، اعتمادًا على قطبية الجهد المطبق (Chen, Dresselhaus, Dresselhaus, Fleurial, & Caillat, 2003, p. 47).

سادسا: السوائل الكهربائية والمغناطيسية Magnetorheological fluid: السوائل الكهربائية عبارة عن معلقات تحتوي على جزيئات عازلة كهربائية بحجم ميكرون معلقة في سائل ناقل لزج غير موصل. تحتوي السوائل المغناطيسية على جزيئات مغناطيسية (حديدية) بحجم ميكرون معلقة داخل زيت ناقل. وبوجود مجال مغناطيسي، تكون الجسيمات المغناطيسية مستقطبة وتشكل سلاسل خطية موازية للحقل المطبق. ويقيد تكوين سلسلة الجسيمات حركة السائل، مما يزيد من إجهاد القص في السائل. اذ يرتبط التغيير في إجهاد القص بكثافة الجسيمات، وحجم الجسيمات، وخاصية الناقل، والمجال المطبق، وعوامل أخرى. وفي حالة عدم وجود مجال مطبق، تتم استعادة الخاصية الانسيابية للسوائل المغناطيسية ويتدفق السائل بحرية أكبر. وبالتالي يمكن التحكم في إجهاد القص للسائل عن طريق تغيير المجال المطبق (Jolly, Bender, & Carlson, 1999, p. 6).

الاطار الاجرائي

1. **منهج البحث**: اعتمد الباحث المنهج الوصفي لتحليل عينة البحث وذلك لملائمته لطبيعة وهدف البحث.
2. **مجتمع البحث**: تم اعتماد مجموعة من المنتجات الصناعية والتي تعود لعدد من الشركات الانتاجية وذلك لندرة تطبيق مواد الاستجابة الذاتية وعدم انتشارها واعتمادها من قبل شركات متخصصة بالكامل. وتكون مجتمع البحث من (8) منتجات تم تطبيق مواد الاستجابة الذاتية في تصميمها وكالتالي:

ت	المنتج	ع	الشركة	البلد
1.	الروبوت اللين	2	مختبر التصميم الحيوي لهارفرد	امريكا
2.	طائرة هليكوبتر من طراز بلاك هورنت نانو	2	Prox Dynamics AS	النرويج
3.	شفروليه كورفيت (فتح واغلاق الصندوق)/ مصد	2	جنرال موتورز	امريكا

	السايرة ذو الذاكرة الشكلية			
4.	ثلاجة بولتيير للسيارة	1	Veedai	الصين
5.	سيارة همر العسكرية (السائل المغناطيسي في نظام المصدات)	1	قيادة دبابات الجيش والتسليح الامريكي	امريكا

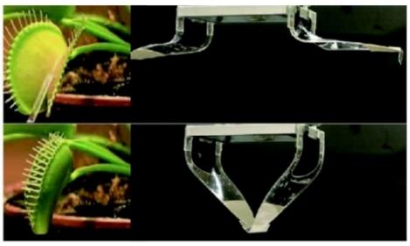
3. **عينة البحث:** تم اعتماد (6) نماذج من مجتمع البحث وبنسبة 75% وبما يتلاءم مع عدد مواد الاستجابة الذاتية المطروحة في البحث لضمان تغطية كافة جوانب التحليل التصميمي لمتغيراتها الادائية والتركيبية في تصميم وظائف المنتجات, وكالتالي:

ت	المنتج	العدد
1.	الروبوت اللين	1
2.	طائرة هليكوبتر من طراز بلاك هورنت نانو	1
3.	شفروليه كورفيت (فتح واغلاق الصندوق)/ مصد السيارة ذو الذاكرة الشكلية	2
4.	ثلاجة بولتيير للسيارة	1
5.	سيارة همر العسكرية (السائل المغناطيسي في نظام المصدات)	1

4. **اداة البحث:** تم تصميم استمارة محاو التحليل تضمنت المحاور الاساسية والفرعية لتحليل عينة البحث (ملحق 1).
5. **الوسائل الحسابية:** معادلة النسبة المئوية=الجزء×100/الكل, لحساب نسب تحقق النتائج.
6. **وصف وتحليل نماذج عينة البحث**

انموذج (1) روبوت قابض ناعم من تصميم Wang & Gupta لمختبر التصميم الحيوي لجامعة هارفرد.

اولا: الوصف



جهاز الامساك الروبوتي الناعم والمستوحى من زهرة الصبار الصائدة للحشرات بناء على الطبيعة الوظيفية للدائن العازلة للحرارة. وهو عبارة عن قابض ناعم يعتمد على مشغلات مطاطية عازلة ثابتة ويتكون من إطار مُركب بواسطة غشاءين من اللدائن العازل الممتد مسبقًا على كلا الجانبين. عندما يتم تطبيق جهد نبضي، يمكن للمقبض التبديل بسرعة (0.17 ثانية) بين حالتين مستقرتين، وبالتالي استيعاب الجسم أو إطلاقه. لذلك، يمكن أن يكون استهلاك الطاقة لكل إجراء منخفضًا يصل إلى 0.1386 جول.

ثانيا: التحليل

1. **العناصر الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية**

احتوى الانموذج على جهاز استشعار يستشعر متغيرات الجهد والطاقة الداخلة وعلى مستشعر ملمسي يستشعر وجود الاشياء بين المقبض, وكذلك على مشغلات اللدائن العازل، وعندما يتعرض المشغل للجهد

الكهربائي يتم استلامه عبر محول الطاقة، فيفتح القابض ليغلف الجسم. عندما يتم إيقاف تشغيل الجهد، يتقلص القابض، وتمسك المخالب الثلاثة الجسم من اجل توظيف عمليات التغيير الموقعي.

2. الخصائص المفاهيمية لمواد الاستجابة الذاتية

يعتمد الانموذج على خاصية الزوال عبر استشعار متغيرات الجهد والطاقة الداخلة مما يتسبب بتغير موقع المقبض للامساك بالأشياء وعند زوال المؤثر يزول التأثير الميكانيكي للامساك بالأشياء. فضلا عن توافر خاصية الانتقائية في تصميم الأنموذج من خلال تحدد نوع الفعل وتنفيذه في الوقت والمكان والمعينين.

يمللك الانموذج القدرة على اداء الفعل بشكل فوري نتيجة للاستشعار والاستجابة لحالات الامساك اللين. فضلا عن احتوائه على امكانية التفعيل الذاتي عبر الية عمل المستشعرات لاقتراب الاجسام وتفعيل خاصية التشغيل والامساك بالأشياء. كما ان الانموذج يملك خاصية المباشرة في اداء الفعل نتيجة لآليات الضغط والقوة والاستجابة الفورية لأليات التشغيل.

3. الخواص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

تم استخدام مواد اللدائن العازلة للكهرباء وذلك لقدرتها على الاستجابة والتغير الشكلي بما يتلائم مع المواد المراد امسكها بما لا يعض الشي المراد القبض عليه الى التلف, وذلك نتيجة لقدرة هذه المواد الحساسة والناعمة والتي تسمح بامساك اشياء صغيرة ودقيقة من دون تعريضها للتلف نتيجة للضغط الميكانيكي.

انموذج (2) طائرة هليكوبتر من طرازبلاك هورنت نانو من تصميم و انتاج شركة Prox Dynamics

اولا: الوصف

طائرة بدون طيار تبلغ أبعادها (10 سم × 2.5 سم) وتوفر للقوات على الأرض وعيًا حيويًا بالحالة. اذ تم تجهيزها بكاميرا صغيرة تمنح القوات صورًا ثابتة وحركية كاملة يمكن الاعتماد عليها. يستخدمه الجنود للمراقبة حول الزوايا أو فوق الجدران وغيرها من العوائق لتحديد أي مخاطر خفية ويتم عرض الصور على محطة محمولة باليد.

ثانيا: التحليل

1. العناصر الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

عندما يتم تطبيق الفولتية على سيراميك مصقول بشكل معاكس، تكون طبقات تيتانات الرصاص الزركونيّة، وتمتد إحدى الطبقات وتتقلص الأخرى. تتسبب لحظة الانحناء المستحثة في أن ينحني المشغل لأعلى أو لأسفل بناءً على قطبية الجهد المطبق. عندما تكون اتجاهات استقطاب الخزف الكهروضغطي هي طبقات تيتانات الزركونات الرصاصية، فإن المحرك ثنائي الشكل يمتد فقط أو يتقلص دون التسبب في أي حركات ثني. يتكون مشغل التصحيح من طبقة واحدة أو أكثر من الألواح الكهرضغطية الرقيقة. اعتمادًا على نوع الإدخال، يعمل إما في وضع التشغيل أو وضع المستشعر. المشغل الأنبوبي عبارة عن مشغل مكدس من السيراميك الكهروضغطي مجوف مع أقطاب كهربائية على كل من الأقطار الداخلية والخارجية.

2. الخصائص المفاهيمية لمواد الاستجابة الذاتية

يعتمد تصميم الانموذج على مشغل كهروضغطي من زركونات التيتانيوم, مما يوفر قابلية التاثير والزوال في اداء الوظيفة. اذ توفر هذه المادة حالة استشعار راديوي للانموذج لاستلام الاشارات وتفعيل مهام الاداء. كما ان قابلية الانموذج الانتقائية تحددت بخواص الاستشعار واستلام الاشارة فضلا عن الانتقاء البصري عبر الكاميرا بتحديد الزووم والمراقبة النقطية. وتمثلت صيغ الفورية في تصميم الانموذج في قدرته على استلام الايعازات واستشعار الاوامر والتنفيذ السريع لها. ومن جانب اخر يملك الانموذج قابلية التفعيل الذاتي عبر استلام الاوامر الراديوية وتفعيلها ذاتيا الى اشارات وصيغ حركية وافعال ادائية. فضلا عن صيغة المباشرة والتي تمثلت في الاداء المباشر للمهام في لحظة استشعار الاوامر.

3. الخواص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

اعتمد الاداء الوظيفي للانموذج على مشغلات وأجهزة استشعار ميكانيكية صغيرة ذات كفاءة في استخدام الطاقة. باستخدام مشغلات كهرضغطية. اذ يتم تطبيق الفولتية على سيراميك مصقول بشكل معاكس، وتمتد إحدى الطبقات وتتقلص الأخرى. وتتسبب لحظة الانحناء المستحثة في أن ينحني المشغل لأعلى أو لأسفل بناءً على قطبية الجهد المطبق. وعندما تكون اتجاهات استقطاب الخزف الكهروضغطي هي طبقات تيتانات الزركونات الرصاصية، فإن المحرك ثنائي الشكل يمتد فقط أو يتقلص دون التسبب في أي حركات ثني. اذ يتكون مشغل التصحيح من طبقة واحدة أو أكثر من الألواح الكهرضغطية الرقيقة. واعتمادًا على نوع الإدخال، يعمل إما في وضع التشغيل أو وضع المستشعر. اذ ان المشغل الأنبوبي عبارة عن مشغل مكدس من السيراميك الكهروضغطي مجوف مع أقطاب كهربائية على كل من الأقطار الداخلية والخارجية.

انموذج (3) شفروليه كورفيت (فتح واغلاق الصندوق), من تصميم و انتاج شركة جنرال موتورز

اولا: الوصف

أصبحت شفروليه كورفيت 2014 أول سيارة تدمج مشغلات سبائك الذاكرة الشكلية، والتي حلت محل المحركات الثقيلة لفتح وإغلاق فتحة التهوية التي تطلق الهواء من الصندوق، مما يسهل الإغلاق. اذ ان السيارة الرياضية من الجيل السابع المعاد تصميمها هي أول مركبة تستخدم سلكًا خفيف الوزن مصنوعًا من سبائك الذاكرة طورته شركة جنرال موتورز بدلاً من مشغل أثقل بمحرك لفتح وإغلاق فتحة التهوية التي تطلق الهواء من صندوق السيارة. اذ يتيح ذلك إغلاق غطاء صندوق الأمتعة بسهولة أكبر من الطرز السابقة حيث يمكن للهواء المحتبس أن يجعل إغلاق الغطاء أكثر صعوبة.

ثانيا: التحليل

1. العناصر الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

يرتبط السلك المعدني المصنع من سبائك الذاكرة الشكلية الموظف في تصميم الانموذج جهاز استشعار قادر على تحديد متغيرات الضغط الهوائي في صندوق السيارة, مما يتيح لمحول الطاقة العمل بان يحول طاقة الضغط الى طاقة حركية يحولها الى المشغل والذي يقوم بتحول الطاقة الناتجة عن الضغط الى عملية تغيير في تركيبة السلك فيقوم بفتح بوابة صغيرة في اسفل الصندوق لتمرير الهواء المضغوط مما يسهل عملية الغلق.

2. الخصائص المفاهيمية لمواد الاستجابة الذاتية

ان امكانية المستشعر على استشعار حالة الضغط يوصل للسلك المعدني عملية انتهاء الضغط الهوائي مما يعلمه بزوال المؤثر فيعود السلك الى شكله الطبيعي بعد زوال المؤثر. فضلا عن صيغة الانتقائية والتي تتحدد فقط بقراءة التاثير الناتج عن ضغط الهواء. ونتيجة لوجود المستشعر وتصميم السلك من سبائك الذاكرة الشكلية فان الفعل ورد الفعل المتولد يكون فوريا في الاستجابة الوظيفية. وتتمثل عملية التفعيل الذاتي بقدرة الاجزاء الكلية للجهاز بتحديد ماهية المتغيرات والاستجابة الذاتية لها. وهي الصفات ذاتها والخصائص التي حققت حالة المباشرة الادائية في فتح وغلق البوابة الخاصة بالأداء.

3. الخواص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

تم اعتماد سبائك الذاكرة الشكلية في تصميم الانموذج وذلك لقدرتها على تغيير شكلها والاستجابة السريعة لطبيعة التاثير المتولد عن الضغط الهوائي.

انموذج (4) شفروليه كورفيت (بوليمرات الذاكرة الشكلية) في مصد السيارة, من تصميم و انتاج جنرال موتورز

اولا: الوصف

يتم فيها إصلاح الخدوش من خلال تطبيق درجة الحرارة. اذ بعد حدوث تشوه غير مرغوب فيه، مثل وجود انبعاج في الحاجز، فإن هذه المواد "تتذكر" شكلها الأصلي. اذ ان تسخينها ينشط "ذاكرتها". ففي مثال الانبعاج، يمكن إصلاح الحاجز بمصدر حرارة، مثل مجفف الشعر. وينتج عن التأثير شكل مؤقت، والذي يتغير مرة أخرى إلى الشكل الأصلي عند التسخين - اذ يقوم البوليمر بإصلاح نفسه.

ثانيا: التحليل

1. العناصر الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

ان بنية العناصر الادائية في تصميم الانموذج على وق متغيرات بوليمرات الذاكرة الشكلية تكون مدمجة في التركيب الفيزياوي للمادة, اذ ان جهاز الاستشعار يتمثل في تركيبة بنيوية تستشعر درجات الحرارة العالية التي تسلط عليها ويذكر المادة بالعودة الى شكلها الاصلي. كما ان محول الطاقة يتمثل بالتركيبة المادية للمادة

في تحويل الطاقة الحرارية الى طاقة حركية يمكن المادة من التمدد والعودة الى الشكل الاصلي. فضلا عن ان المشغل يتحدد ببنية الذرات وقدرتها على الاداء المتمثل بتذكر الشكل الاصلي للأنموذج.

2. الخصائص المفاهيمية لمواد الاستجابة الذاتية

تتمثل خصائص مواد الاستجابة الذاتية على مستوى خاصية الزوال في الاستجابة للتأثير والعود الى الشكل الاصلي بعد زوال التأثير الحراري. وتمثلت الانتقائية في خاصية التأثير المحدد بالحرارة والعودة الى الشكل الاصلي بعد تسليط قوة حرارية على مصد السارة عند تعرضه للانبعاج. وتحددت الفورية في استجابة المادة للحرارة وتذكر الشكل الاصلي والعودة اليه. في حين تمثل التشغيل الذاتي في تذكر الشكل الاصلي والعودة اليه تلقائيا. وتحددت خاصية المباشرة في التحول المباشر من حالة التاثير نتيجة الصدمة الى تذكر الشكل الاصلي والعودة اليه.

3. الخواص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

تحددت الخاصية الوظيفية في تذكر والعودة الى الشكل الاصلي نتيجة لاستخدام بوليمرات الذاكرة الشكلية والافادة من خواصها التركيبية في تصميم وتصنيع المصد.

انموذج (5) ثلاجة بولتيير للسيارة

اولا: الوصف

تم استخدام المواد الكهروحرارية في تصميم الانموذج والتي تسمى "مبردات كهروحرارية" أو "مبردات بلتيير" – انطلاقا من (تأثير بلتيير) الذي يتحكم في تشغيلها. وكتقنية تبريد، يعتبر تبريد (بلتيير) أقل شيوعًا من التبريد بضغط البخار. اذ تتمثل المزايا الرئيسية للانموذج (مقارنة بثلاجة ضغط البخار) في افتقاره إلى الأجزاء المتحركة أو مادة التبريد، وصغر حجمه وشكله المرن. وتعمل الثلاجة بتوفير درجة حرارة تصل الى 15 درجة مئوية, وتعمل بقدرة 42 واط -12 فولت.

ثانيا: التحليل

1. العناصر الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

صمم الانموذج على وفق تقاطعان معدنيان متباينان في درجات حرارة مختلفة، وتكون المغناطيسية ناتجة في الواقع عن تيار الشحن ، والتيار يرجع إلى التأثير الكهروحراري ، والتأثير الكهروحراري هو التحويل المباشر بين فرق درجة الحرارة والجهد الكهربائي وهو المسؤول عن تحول الطاقة، فضلا عن ان التأثير الكهروحراري قابل للانعكاس ، وأجهزة الاستشعار القائمة على هذا التأثير هي أجهزة استشعار سلبية تعمل على استشعار التغيرات في درجات الحراة مما يودي الى تشغيل حالة التبريد من قبل المشغل.

2. الخصائص المفاهيمية لمواد الاستجابة الذاتية

تعمل خاصية الزوال في تصميم الانموذج بوجود التاثير الحراري وغيابها بعدمه, وتتلخص الانتقائية في تحديد طبيعة التغييرات من حرارية الى مغناطيسية لتوليد التاثير الخاص بالتبريد. في حين تاخذ الفورية

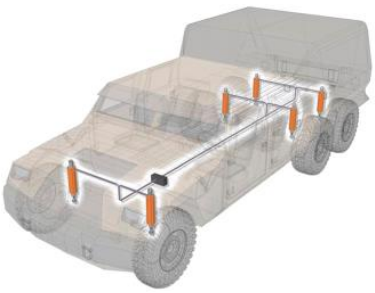
مداها في تصميم الانموذج عبر التحولات المباشرة للطاقة من حالة الى اخرى. اما حالة التفعيل الذاتي فتتولد من استشعار المتحسس لتغيرات درجة الحرارة والتي تنتج تلقائيا تحويل في الطاقة من المغناطيسية المتولدة الى انخفاض في درجة حرارة الفضاء الداخلي للانموذج. في حين نجد ان المكباشرة تكون ناتجة عن التغيرات في درجة حرارة اللوحان المعدنيان.

3. الخواص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

استخدم في تصميم الانموذج التأثير الكهروحراري والذي نتج عن الجهاز الكهروحراري مما يولد جهدًا عندما تكون هناك درجة حرارة مختلفة على كل جانب. مما يؤدي إلى اختلاف في درجة الحرارة. على النطاق الذري ، يتسبب التدرج المطبق في درجة الحرارة في انتشار حاملات الشحنة في المادة من الجانب الساخن إلى الجانب البارد.

انموذج (6) سيارة همر العسكرية (السائل المغناطيسي في نظام المصدات).

اولا: الوصف



استخدم في تصميم الانموذج نظام التعليق القائم على السوائل ، والذي يتم التحكم فيه بواسطة الكمبيوتر لسيارة HMMWV Hummer التابعة للجيش الامريكي. اذ تم تطوير النظام الجديد لتحسين أداء وحركة سيارة هامر للجيش التي تستخدم نظام تعليق الاعتيادي. والذي وفر سرعات تنقل أعلى على أرض معينة تحسين الجر في الإطارات وعمر محسّن للإطارات وتقليل إجهاد تحميل هيكل السيارة والحمولة الصافية.

1. العناصر الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

يتمثل نظام المصدات في جهاز الاستشعار والذي يكون جزءا من التركيبة الذرية للسائل الكهرومغناطيسي وكذلك محول الطاقة والمشغل والتي تتمثل في الجسيمات المغناطيسية التي تكون عادةً كرات أو مجسمات بيضاوية ميكرومترية أو نانومترية ، داخل الزيت الحامل وتوزع عشوائيًا في التعليق في الظروف العادية, والتي تستجيب للصدمات في ان تقلل من تأثيرها على الانموذج.

2. الخصائص المفاهيمية لمواد الاستجابة الذاتية

تتمثل حالة الزوال في تصميم نظام الصدمات في التاثير المتولد عن متغيرات الطريق وتقليل التأثير وغيابه في حالة زوال المؤثر الخارجي. وتكون حالة الانتقائية في استشعار السائل للمتغيرات والاستجابة لها وفقا لشدة التاثير الخارجي. اما عنصر الفورية فيتحقق بسرعة الاستجابة لتقليل الصدمات, في حين نجد ان التفعيل الذاتي يتحقق نتيجة لطبيعة البنية النانومترية واستجابتها لتقليل تاثير الصدمة. فضلا عن ان المباشرة تتحقق بفعل المتغيرات الذرية للسائل وسرعة تاثره بالمتغير الخارجي.

3. الخواص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية

تم استخدام سائل مغناطيسي هو نوع من السوائل الذكية في سائل ناقل ، عادة ما يكون نوعًا من الزيت. عند تعرضه لمجال مغناطيسي ، فإن السائل يزيد بشكل كبير من لزوجته الظاهرة ، لدرجة أن يصبح مادة صلبة لزجة مرنة.

النتائج

1. ظهرت النماذج باحتوائها على العناصر الاساسية المميزة لمواد الاستجابة الذاتية من جهاز الاستشعار ومحول الطاقة والمشغل ولكافة نماذج العينة وبنسبة 100%.
2. تميزت النماذج باحتوائها على العناصر الاساسية المنطلقة من التأثير المفاهيمي لمواد الاستجابة الذاتية عبر متغيرات الزوال والانتقائية والفورية والتفعيل الذاتي والمباشرة ولكافة نماذج العينة وبنسبة 100%.
3. تم استخدام مادة اللدائن العازلة للكهرباء في تصميم الانموذج (1) انطلاقا من متغيراته التركيبية وسماتها الوظيفية وبنسبة 16.6%, ولم تستخدم في النماذج (6,5,4,3,2) وبنسبة 83.3%.
4. استخدمت المتغيرات والخصائص الوظيفية للسيراميك والبوليمرات الكهروضغطية في تصميم وظيفة الانموذج (2) وبنسبة 16.6,ولم تستخدم في تصميم وظائف النماذج (6,5,4,3,1) وبنسبة 83.3 %.
5. صممت وظيفة الانموذج (3) على وفق المتغيرات الادائية لسبائك الذاكرة الشكلية وبنسبة 16.6% ولم تستخدم في تصميم وظائف النماذج (6,5,4,2,1) وبنسبة 83.3%.
6. ظهر الانموذج (4) بتصميم وظيفته انطلاقا من المتغيرات الادائية لبوليمرات الذاكرة الشكلية وبنسبة 16.6%, ولم تستخدم في تصميم وظائف النماذج (6,5,3,2,1) وبنسبة 83.3%.
7. اعتمد تصميم البنية الوظيفية للأنموذج (5) على استخدام المواد الكهروحرارية وبنسبة 16.6%, ولم تستخدم في تصميم وظائف النماذج (6,4,3,2,1), وبنسبة 83,3%.
8. تم تصميم وظيفة الانموذج (6) انطلاقا من الخصائص الوظيفية للسوائل الكهرومغناطيسية وبنسبة 16.6%, ولم تستخدم في تصميم النماذج (5,4,3,2,1) وبنسبة 83.3%.

الاستنتاجات

1. تمثل المادة وفق متغيراتها الفيزيائية بعدا جوهريا من ابعاد تشكيل المنتج الصناعي والتي تتأسس وفقا لاشتراطات ومعايير تحددها الطبيعة الوظيفية للمنتج الصناعي ومتغيرات الوظيفة من الاجزاء وعلاقاتها وطبيعة تراكبها مع بعضها الاخر, اذ تعد هذه المعايير والاشتراطات الوظيفية عنصرا اساسيا في اختيار المادة الملائمة لوظيفة المنتج ومدى تحملها لظروف ونوعيات الاداء الوظيفي سواء اكان حركيا ام ثابتا ومدى مقاومتها لظروف العمل والتشغيل ومتغيراته من الاجهاد والحرارة والرطوبة والاحتكاك.
2. تتميز مواد الاستجابة الذاتية عن الاخرى التقليدية بان لها القدرة على الشعور والاستجابة بمتغيرات البيئة المحيطة على وفق مؤثرات خارجية محددة واستجابات داخلية محددة تتحدد وفقا لطبيعة المادة وسماتها الذرية ونوع الاستجابة المصممة في بنيتها التركيبية الفيزيائية على مستوى الذرات والمقياس النانومتري.

3. تماثل مواد الاستجابة الذاتية في عملها واستجابتها الاعضاء البشرية عند استجابتها للمحفزات والمؤثرات التي تؤثر في بنيته التركيبية وتستجيب لنوع المؤثرات وفقا لنوع المادة ونوع الاداء الوظيفي المصمم في تركيبتها النانوية وفقا لمتغيرات ذرية مؤسسة في بنيتها التركيبية الفيزيائية, وقابليتها على اعادة الفعل مرات متكررة نتيجة لقدرتها على تذكر الايعاز ونوع الفعل المطلوب.
4. تتحدد السمات الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية في قدرتها على الاحساس والتذكر وتكرار الفعل المراد نتيجة لاحتوائها على اجهزة استشعار مؤسسة في بنيتها الذرية ومصدرا لتحويل الطاقة من صورة الى اخرى ومحولا لتحويل خاصية الطاقة الداخلة الى نوع اخر من الطاقة او نوع محدد من الافعال الذي يكون متجذرا في بنية المادة اعتمادا على خاصيتها التركيبية ونوع المادة الذكية. فضلا عن قدرتها على تكرار صفة التأثير والاستجابة نتيجة لخصائصها المتمثلة بالزوال والانتقائية والتفعيل الذاتي, مما يمنحها القدرة على الاستجابة وتكرارها طالما استمر المؤثر الخارجي في التأثير في بنيتها التركيبية.
5. الصفة المميزة لمواد الاستجابة الذاتية هو في قدرتها على تحويل اشكال الطاقة الى اشكال اخرى من الطاقة وبالتحديد نوع من الفعل المتمثل في نوع الوظيفة التي صممت المادة الذكية على وفقها ونوع التركيب الفيزيائي الذي تتصف به. ونتيجة لنوع المدخلات المتمثلة بالتحفيزات التي تتسلمها من البيئة المحيطة او العالم الخارجي فان المادة الذكية تملك القدرة على اداء وظائف محددة ومقننة تم تركيبها في بنيتها الداخلية.
6. ان قدرة اللدائن العازلة للحرارة على القيام بأفعال ووظائف محددة يكون انطلاق من قدرتها النانوية على معالجة مدخلات الطاقة الكهربائية الى نوع حركي يمكن الافادة منه في تصميم منتجات تملك القدرة على الاستجابة الفورية والتفعيل الذاتي نتيجة لطبيعتها النانوية وقدرتها على تحويل مدخلات الطاقة الى اداء وظيفي ميكانيكي يمكن ان يتمثل بأنواع مختلفة من انواع الاداء الوظيفي في تصميم المنتجات الصناعية.
7. تمثل البوليمرات الكهروضغطية نوعا من المواد التي تملك القدرة على تحويل مدخلات الطاقة الى نوع محدد من الاداء الحركي والذي غالبا ما يتسم بالسرعة والتكرار, مما يتيح تكوين منتجات تملك القدرة على اداء حركة متكررة ومستمرة لفترات غير قصيرة. اذ ان هذا النوع من المواد منح المصمم القدرة على تكوين منتجات تتمكن من تكرار الاداء باستمرار المؤثر الخارجي, وهي صفة يمكن توظيفها في اداء المنتجات الصناعية مثل الحركات الدورانية للمحركات المايكروية او الحركة الترددية او الحركة التكرارية والتي يمكن الافادة منها في الكثير من الوظائف مثل رفرفة الاجنحة لتصنيع طائرات مايكروية وغيرها من المنتجات التي تعتمد الحركة الدورانية او الترددية او التكرارية – الرفرفة.
8. تمكن مواد الذاكرة الشكلية – السبائك والبوليمرات- المصمم في ايجاد خصائص ادائية يمكن توظيفها في تصميم المنتجات الصناعية لتكوين وظائف لا تستطيع المواد التقليدية من ادائها. اذ صفات هذه المزاد وخصائصها الميكانيكية والفيزيائية على المستوى الذري والنانوي تمكنها من تذكر شكلها الاصلي الذي صممت على وفقه. وعند تعرضها لتأثيرات من العالم الاستخدامي المحيط بالمنتج الصناعي وتغير شكلها عن الشكل الذي صممت وفقه, فان المستخدم يتمكن من اعادة المنتج او اجزائه الى الشكل

الاصلي بتسليط تأثيرات معين – حرارة او ضغط. اذ ان هذه الخاصية تمكن المصمم من ايجاد متغيرات وخصائص وظيفية تتيح له اثراء الميزات الوظيفية للمنتجات الصناعية او تكوين وظائف جديدة بالاعتماد على صفات وخصائص مثل هذه المواد.

9. تتيح مواد التأثير الكهروحراري للمصمم في ايجاد منتجات تملك القدرة على تحويل الظواهر في اختلاف درجة الحرارة إلى خلق جهد كهربائي أو أن يؤدي التيار الكهربائي إلى إحداث فرق في درجة الحرارة. مما يمكن من الافادة منها في استغلال الظروف البيئية المختلفة وتكوين منتجات تملك القدرة على خلق نظامها الكهربائي الخاص من دون الحاجة الى تيار كهربائي خارجي. وهنا ستكون المنتجات التي تملك مثل هذه الخواص المادية لها القدرة على ان تكون ذاتية الطاقة بما يضمن استمرارها على العمل لفترات طويلة فضلا عن اقتصادها بالطاقة وكلف التشغيل والتصنيع.

10. تمثل خصائص السوائل الكهرومغناطيسية الفيزيائية والتركيبية الذرية والنانوية من ايجاد وظائف ومتغيرات ادائية لوظيفة المنتجات الصناعية تكون نابعة من قدرة هذه المواد على تغيير حالتها الفيزيائية من صلبة الى سائلة طالما كان هناك مؤثر خارجي – كهربائي او مغناطيسي. وتمثل هذه الخاصية الفيزيائية لمثل هذا النوع من المواد مدخلا مثاليا لاستغلاله في تعزيز وظائف المنتج او في تكوين منتجات مبتكرة تكون وظائفها قائمة على ايجاد مواد ذات بنية فيزيائية تتيح لها التغير من الحالة الصلبة الى الحالة السائلة بسرعة كبيرة.

References

1. Abbas, Q. W. (2016). Metaphor in product design. *Al-academy Journal*(76), 123-136.
2. Addington, M., & Schodek, D. (2005). *Smart materials and technologies for the architecture and design professions.* Burlington: Architectural Press.
3. AKIN, T. (2009). *Communication Of Smart Materials: Bridging The Gap Between Material Innovation And Product Design.* Master Of Science, Turkey: he Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University.
4. Aktaş, B., & Mäkelä, M. (2019). Negotiation between the maker and material: Observations on. *International Journal of Design, 13*(2), 55-67.
5. Al-Baldawi, M. (2015). Application of Smart Materials in the Interior Design of Smart Houses. *Civil and Environmental Research, 7*(2), 1-16.
6. Aluqaily, J. K., & Abbood, A. N. (2020). Biophysics and its scientific data in industrial product design. *Al-academy Journal*(96), 289-306.
7. Aluqaily, j. k., & Mahmood, S. n. (2015). Pleasure and Emotions and their role in aesthetics' experience of the user. *Al-academy Journal*(71), 165-184.
8. AlUqaily, j. k., & Matar, A. G. (2019). Ecological Aesthetics of Industrial Product in Urban Design. *Al-academy Journal*(93), 2523-2029.
9. Baumberger, G. (2007). *Methods for customer-specific product definition for individualized products.* Munich: Technical University of Munich.
10. Baurley, S. (2004, July). Interactive and experiential design in smart textile products and applications. *Personal and Ubiquitous Computing, 8*(3-4), 274-281.
11. Brinson, L., & Huang, M. (1996). Simplifications and comparisons of shape memory alloy constitutive models. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 7*(1), 108–114.
12. Champier, D. (2017). Thermoelectric generators: A review of applications. *Energy Conversion and Management, 140*, 62–181.

13. Chen, G., Dresselhaus, M., Dresselhaus, G., Fleurial, J., & Caillat, T. (2003). Recent developments in thermoelectric materials. *International Materials Reviews, 48*(1), 45–66.
14. Crawley, E. (2004). The Influence of Architecture in Engineering Systems. *MIT Engineering Systems Symposium*.
15. Disalvo, F. (1999). Thermoelectric Cooling and Power Generation. *Science, 285*(5428), 703–706.
16. General Motors. (2014, febreuary 12). *Chevrolet Debuts Lightweight 'Smart Material' on Corvette: GM's first use of heat-activated shape memory alloy replaces heavier motorized part*. Retrieved April 7, 2022, from General Motors corporate news room: https://media.gm.com/media/us/en/gm/home.detail.html/content/Pages/news/us/en/2013/Feb/0212-corvette.html
17. Granzow, T., Glinsek, S., & Defay, E. (2022). *Piezoelectric Ceramics* (Vol. 4). (A.-G. Olabi, Ed.) Elsevier.
18. Guo, Y., Liu, L., Liu, Y., & Leng, J. (2021). Review of Dielectric Elastomer Actuators and Their. *Advanced Intelligent Systems, 3*(2000282), 1-18.
19. Hodgson, S., & Harper, S. (2004). Effective use of materials in the design process: More than a selection problem. *the 7th International Conference on Engineering and Product Design Education.* Delft, the Netherlands: Delft university.
20. Jolly, M., Bender, J., & Carlson, J. (1999). Properties and applications of commercial magnetorheological fluids. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 10*(1), 5–13.
21. Kofod, G., & Wirges, M. (2007). Energy minimization for self-organized structure formation and actuation. *Appl. Phys. Lett, 90*(081916).
22. Kumar, S. (2022). *Thermal Engineering* (Vol. 1). Gewerbestrasse, Switzerland: Springer.
23. Mäkelä, M., & Löytönen , T. (2017). Rethinking materialities in higher education. *Art, Design & Communication in Higher Education, 16*(2), 241-58.
24. MICOCCI, M., SPINELLI, G., & AJOVALASIT, M. (2016). Actualizing Agency through Smart Products: Smart Materials and Metaphors in Support of the Ageing Population. *6th STS Italia Conference* (pp. 1-17). Trento: Sociotechnical Environments.
25. Mitrovic, M., Carman, G., & Straub, F. (2001). Response of piezoelectric stack actuators under combined electro-mechanical loading. *International journal of solids and structures, 38*(24), 4357–4374.
26. Monkman, G. (2000). Advances in Shape Memory Polymer Actuation. *Mechatronics, 10*(4-5), 489–498.
27. Mühlhäuser, M. (2007). *Smart products: An introduction.* (M. Mühlhäuser, A. Ferscha, & E. Aitenbichler, Eds.) Berlin, Germany: Springer.
28. Newnham, R., & Gregory, R. (1991). Smart Electroceramics. *Journal of the American Ceramic Society, 47*(3), 463-480.
29. Olson, G. (2000). Materials by Design: Efficient Innovation. *Pathways of Discovery, 288*(5468), 993- 998.
30. Park, J.-K. (2012). *Advanced Development of a Smart Material Design, Modeling, and Selection Tool with an Emphasis on Liquid Crystal Elastomers.* Ohio, USA: Graduate School of The Ohio State University.
31. Parliamentary Office of Science and Technology. (2008, January). Smart materials and Systems. (299), 1-4.
32. Pickering, A. (2005). *Practice and posthumanism: Social theory and a history of agency.* (S. T, K. K, C. Knorr, & v. E, Eds.) London, UK: Routledge.

33. Ritter, A. (2007). *Smart materials: in architecture, interior architecture and design.* Springer.
34. Rus, D., & Tolley, M. (2015, May 27). Design, fabrication and control of soft robots. *Nature, 521*(7553), 467–475.
35. Schwartz, M. (2002). *Preface in the smart materials encyclopedia.* Canada: John Wiley& Sons.
36. Sekhar, C., & et al. (2021). *Piezoelectricity and Its Applications, Multifunctional Ferroelectric Materials.* (D. Ranjan Sahu, Ed.) Namibia: Namibia University of Science and Technology.
37. shalal, F. A., & Loken, H. K. (2020). The functional dimension of designing bilingual logos. *Al-academy Journal*(96), 273-288.
38. Soni, S. (2017). A Review Paper on Hydrophones. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 7*(23), 1-3.
39. Thill, C., Etches, J., Bond, I., Potter, K., & Weaver, P. (2008). Morphing skins. *The Aeronautical Journal, 112*(1129), 117–139.
40. Ulrich, K. (1995). The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm. *Research Policy, 24*(3), 419-440.
41. Wang, Y., & Gupta, N. (2019). A soft gripper of fast speed and low energy consumption. *Sci. China Technol. Sci.*(62), 31-38.
42. Wereley, N., Singh, H., & Choi, Y. (2014). Adaptive Magnetorheological Energy Absorbing Mounts for Shock Mitigation. In N. Wereley, *Magnetorheology: Advances and Applications* (pp. 278-287). Cambridge, UK: Royal Society of Chemistry.
43. Wissler, M., & Mazza, E. (2005, December). Modeling and simulation of dielectric elastomer actuators. *Smart Materials and Structures, 14*(6), 1396–1402.

الملاحق

ملحق (1) استمارة التحليل

ت	المحور الاساسي	المحاور الفرعية
.1	العناصر الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية	جهاز الاستشعار
		محول الطاقة
		المشغل
.2	الخصائص المفاهيمية لمواد الاستجابة الذاتية	الزوال
		الانتقائية
		الفورية
		التفعيل الذاتي
		المباشرة
.3	الخواص الوظيفية لمواد الاستجابة الذاتية	اللدائن العازلة للكهرباء
		السيراميك والبوليمرات الكهروضغطية
		سبائك الذاكرة الشكلية
		بوليمرات الذاكرة الشكلية
		المواد الكهروحرارية
		السوائل الكهربائية والمغناطيسية