أنظمة وآليات الأغلفة التكيفية ومدى أثرها على كفاءة المبنى

د. سماهر ونوس*

د. رنا بدر**

نغم حمزة***

(تاريخ الإيداع 15 / 10 / 2020. قُبِل للنشر في 14/ 3 / 2021)

□ ملخّص □

في السياق الحالي لانعدام الأمن في إمدادات الطاقة والبحث عن حلول لتحسين الأداء البيئي والطاقي في الأبنية ولاسيما في الأغلفة التي تعد الوسيط بين البيئة الداخلية والخارجية والمسؤولة عن تبادل الطاقة وعناصر البيئة، وفي ظل التطور التكنولوجي نشأت فكرة الأغلفة التكيفية القادرة على تعديل تأثير البيئة الخارجية على المباني وبالتالي تحسين بيئتها الداخلية بأسلوب يحفظ الطاقة ويوفرها، ويحقق أكبر قدر ممكن من الكفاءة في استخدام المواد.

فقد استخدمت المواد الذكية لتصميم هذه الأغلفة، وأصبح من الضروري توفر معرفة كافية عن خصائص هذه المواد وسلوكها الفيزيائي التي نتجت عنها آليات التكيف والتي من خلالها تصبح هذه الأغلفة قادرة على الاستجابة للتغيرات في البيئة الخارجية بصورة ديناميكية، وذلك باستخدام أنظمة متحركة (تعتمد على التغيرات في الشكل الفيزيائي للمواد الذكية) وأنظمة ساكنة (تعتمد على خصائص المواد الذكية).

ومن هنا ظهرت **المشكلة البحثية:** هل يمكن تحديد تأثير نوع النظام وآلية التكيف المستخدمة في الغلاف التكيفي على كفاءة المبنى؟ وبالتالي هل يمكن تحديد النظام والآلية الأمثل في تحقيق كل كفاءة؟ وبذلك يكون **هدف البحث:** دراسة تأثير الأنظمة وآليات التكيف المختلفة المستخدمة في الأغلفة التكيفية على كفاءة المباني والمقارنة فيما بينها لتحديد النظام والآلية الأمثل في تحقيق كل كفاءة. لتحقيق الأهداف المرجوة تم دراسة وتحليل نماذج عن الأنظمة والآليات المستخدمة في الأغلفة التكيفية لبعض الأمثلة والمقارنة بينها من حيث تأثير نوع النظام والآلية المستخدمة في كل منها على كل من الكفاءة البيئية، كفاءة الاقتصاد بالطاقة والكفاءة الجمالية للمبنى، وتم التوصل إلى النظام والآلية الأمثل في تحقيق كل كفاءة.

الكلمات المفتاحية: الأغلفة التكيفية، الأنظمة المتحركة، الأنظمة الساكنة، آليات التكيف، كفاءة المباني.

* مدرسة، قسم التصميم المعماري، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

** استاذ مساعد، قسم التصميم المعماري، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

*** طالبة ماجستير، قسم التصميم المعماري، كلية الهندسة المعمارية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.
naghamhamzeh7@gmail.com

Adaptive Envelopes Systems and Mechanisms and their Impact on Building Efficiency

Dr. Samaher Wanous*
Dr. Rana Bader**
Nagham Hamza***

(Received 15 / 10 / 2020. Accepted 14 / 3 / 2021)

□ ABSTRACT □

During current context of insecurity in energy supply and the search for solutions to improve the environmental and energy performance in buildings, especially in envelopes which intermediary between internal and external environment, responsible for the exchange of energy and environmental elements, under technological development, adaptive envelopes idea arose that modifies external environment effect on buildings, thus improving its internal environment in way that saves energy and achieves the greatest possible efficiency in use of materials.

Smart materials have been used to design these envelopes, and it became necessary to have sufficient knowledge about properties and physical behavior of these materials, which resulted adaptation mechanisms, which Through it these envelopes become able to respond to changes in external environment dynamically, using Kinetic systems (depends on changes in physical shape of smart materials) and static systems (depends on properties of smart materials).

Hence, the research problem emerged Can the impact of the type of system and adaptation mechanism used in adaptive envelope on building efficiency be determined? therefore determine the optimal system and mechanism in achieving each efficiency? The objective of research is to study the impact of various systems and adaptation mechanisms used in adaptive envelopes on buildings efficiency and compare them to determine the optimal system and mechanism in achieving each efficiency. In order to achieve the desired objectives, models of systems and mechanisms used in adaptive envelopes for some examples have been studied and compared in terms of the impact of system and mechanism type used in each of them on environmental, energy and aesthetic efficiency, the optimal system and mechanism in achieving each efficiency have been reached.

Keywords: adaptive envelopes, kinetic systems, static systems, adaptation mechanisms, buildings efficiency.

*Assistant Professor- Department of Architectural Designing- Faculty of Architecture- Tishreen University- Lattakia- Syria.

** Associate Professor- Department of Architectural Designing- Faculty of Architecture- Tishreen University- Lattakia- Syria.

*** Postgraduate Student (Master) - Department of Architectural Designing- Faculty of Architecture- Tishreen University- Lattakia- Syria.

مقدمة:

شهدت العمارة توجهاً ملحوظاً نحو استعمال الزجاج في أغلفة المباني بمساحات واسعة، مما تسبب في الحاجة إلى كمية كبيرة من الطاقة اللازمة المصروفة لتعديل المناخ الداخلي. وقد أدى تزايد الوعي باتجاه ترشيد الطاقة والحاجة إلى حل مشكلة الانتقال الحراري مع ازدياد استخدام الزجاج إلى إيجاد حلول تكنولوجية مناسبة وخاصة في الأغلفة التي تعد الوسيط بين البيئة الداخلية والخارجية والتي يمكن من خلالها التحكم بالبيئة الداخلية للمبنى. وساعد تطور المواد الذكية على ظهور فكرة الأغلفة التكيفية التي تمتلك القدرة على التكيف لتلبية حاجات شاغلي المبنى من خلال توفير الظروف الداخلية المناسبة مع استخدام أقل قدر من الطاقة من خلال استخدام الخصائص التي توفرها المواد الذكية للاستجابة عن طريق آليات التكيف لتأثيرات البيئة الخارجية وذلك باستخدام أنظمة ساكنة ومتحركة.

أهمية البحث وأهدافه:

إشكالية البحث: هل يمكن تحديد تأثير نوع النظام وآلية التكيف المستخدمة في الغلاف التكيفي على كفاءة المبنى؟ وبالتالي هل يمكن تحديد النظام والآلية الأمثل في تحقيق كل كفاءة؟

هدف البحث: دراسة تأثير الأنظمة وآليات التكيف المختلفة المستخدمة في الأغلفة التكيفية على كفاءة المباني والمقارنة فيما بينها لتحديد النظام والآلية الأمثل في تحقيق كل كفاءة.

منهجية البحث: لتحقيق الأهداف المرجوة تم اتباع المناهج البحثية التالية:

- **المنهج الوصفي:** وذلك بجمع المعلومات النظرية المتعلقة بموضوع البحث.
- **المنهج التحليلي:** في دراسة وتحليل نماذج عن الأنظمة والآليات المستخدمة في الأغلفة التكيفية لبعض الأمثلة العالمية والعربية، بحيث تم جمع المعلومات عنها ومن ثم تحليلها وتقييمها من حيث تحقيقها لكل من الكفاءة البيئية، كفاءة الاقتصاد بالطاقة، الكفاءة الجمالية.
- **المنهج المقارن:** من خلال إجراء مقارنة بين الأمثلة من حيث تأثير نوع النظام والآلية المستخدمة في كل منها على كل من الكفاءة البيئية، كفاءة الاقتصاد بالطاقة والكفاءة الجمالية للتوصل إلى النظام والآلية الأمثل في تحقيق كل كفاءة.

1- غلاف المبنى "Envelope of Building" ودوره في رفع كفاءة المبنى:

1-1- غلاف المبنى ووظائف الغلاف الكفء: إن الغلاف الخارجي لأي مبنى أو فراغ معماري هو المُغلف المباشر للعنصر الوظيفي والعنصر الإنشائي المستخدم في المبنى سواء أكان من الخرسانة المسلحة أو الحديد والزجاج أو غير ذلك من مواد الإنشاء المختلفة، وحلقة الوصل ما بين الداخل والخارج. ويتكون الغلاف الخارجي للمبنى من ثلاثة عناصر رئيسية هي: الأسقف، والجدران الخارجية الرأسية، والفتحات الخارجية (أبواب ونوافذ). لكل من العناصر السابقة دور في الانتقال الحراري بين داخل وخارج المبنى، كما يمكن مراعاة تصميم كل منها بصورة تقلل الانتقال الحراري من وإلى الفراغ الداخلي، وبالتالي المساعدة في خلق بيئة صالحة ومريحة للإنسان [5]. ويؤدي غلاف المبنى العديد من الوظائف المختلفة حيث يعمل كعامل تصفية بيئي لحماية البيئة الداخلية من التغيرات المناخية غير الملائمة. وتتلخص الوظائف التي يجب أن يؤديها الغلاف الكفء في [6]:

- **الحماية من الأشعة الشمسية:** يمكن التحكم في دخول أشعة الشمس والسطوع غير المرغوب فيه إذا تم استخدام شكل من أشكال الحماية من أشعة الشمس.
- **توفير الإضاءة الطبيعية:** يجب أن يوفر غلاف المبنى الإضاءة الطبيعية الكافية.
- **توفير التهوية الطبيعية:** يجب أن يوفر الغلاف التهوية الطبيعية والتي تتناسب مع وظيفة ومظهر الغلاف.
- **الحماية من الرياح والأمطار:** يجب أن يكون الغلاف محكم بالعديد من الطرق، بحيث لا تتمكن الرياح والأمطار من اختراق الغلاف من الخارج، ولا الرطوبة من الداخل.
- **العزل الصوتي:** يجب تصميم غلاف المبنى فيما يتعلق بمصادر الضوضاء الموجودة بطريقة تحد من حدوث وانتشار الضوضاء المزعجة.
- تحسين التصميم العام للمبنى **لتلبية احتياجات الشاغلين مع تقليل استهلاك الطاقة.**
- فضلاً عن الوظائف الأخرى مثل **العنصر الجمالي** وإتاحة الرؤية الخارجية [7].

1-2- دور الغلاف الخارجي في رفع الكفاءة البيئية "Eco-efficiency" للمبنى: تتحقق كفاءة أداء الغلاف الذي يقوم بدور المنظم والصمام الحراري بين البيئتين الخارجية والداخلية من خلال تصميمه الصحيح الذي يضمن توفير درجات حرارة ملائمة داخل فراغ المبنى وتقليل الحمل الحراري المرتبط مباشرة بعمليات الكسب والفقدان الحراري عبر مكونات الغلاف الخارجي، حيث أن غلاف المبنى يمثل المنظومة الحرارية للمبنى والمعرضة لجميع الأحمال الحرارية الخارجية، ومن خلال كفاءة أداءه تتم السيطرة المناخية بمستوياتها المختلفة داخل المبنى، ويلعب الغلاف الدور الرئيسي في حماية المبنى من المؤثرات المناخية الخارجية وتوفير حالات الراحة الحرارية لمستخدميه. وكلما ازدادت ديناميكية الغلاف تجاه المؤثرات المناخية زادت كفاءته في تجاوبه مع العوامل المناخية [8].

1-3- دور الغلاف الخارجي في رفع كفاءة استخدام الطاقة "Energy Efficiency": يعد المبنى كفوء في استخدام الطاقة حينما يستخدم طاقة أقل لأغراض التدفئة والتبريد والتهوية والإنارة، من دون التأثير على راحة شاغليه. ولتحقيق وفورات في الطاقة المستخدمة في تشغيل المبنى يتعين التكامل بين الأداء الفعلي لنظم المبنى مع الأغلفة. وتُعد الأغلفة واحدة من أهم العناصر لتوفير الطاقة في المبنى، لذا يتعين تصميمها ومنذ البداية بشكل صحيح للتكيف مع المناخ الموضعي لفضاءات المبنى، وبأسلوب يحقق الاستخدام الكفوء للطاقة فيه، فضلاً عن تحقيق الراحة الحرارية لشاغليه [9].

2- مفهوم التكيف "Adaptation" والعمارة التكيفية "Adaptive architecture":

2-1- مفهوم التكيف "Adaptation":

التكيف مع المناخ: هو العملية التي يستطيع من خلالها الإنسان التقليل من الآثار السلبية للمناخ على صحته ورفاهيته، بالإضافة إلى الاستفادة من الفرص التي توفرها البيئة المناخية المحيطة، ويتضمن التكيف تعديلات تعزز استمرارية الأنشطة الاجتماعية والاقتصادية والسلوكية للإنسان في ظل تغير المناخ على المدى الطويل [10].

التكيف في علم الأحياء: عملية تطورية تصبح فيها الكائنات الحية متكيفة أكثر للعيش والتكاثر في بيئتها، والتكيف يتضمن تغيرات تركيبية، وظيفية، أو سلوكية تحدث للكائن الحي حتى يصبح ملائماً للظروف البيئية المحيطة [11].

التكيف في العمارة: تعني كلمة متكيف "Adaptable" في العمارة القابلية على التغير استجابةً للتغيرات في الظروف البيئية الداخلية والخارجية وسلوك الساكن وأدائية الغلاف المتوافقة مع حاجات المستخدم وذلك لتوفير المتطلبات البيئية المرغوبة الملائمة في الوقت المناسب [12].

2-2- مفهوم العمارة التكيفية "Adaptive architecture": تبحث الهندسة المعمارية التكيفية في الأبنية التي تصمم لتتكيف مع بيئتها وشاغليها والعناصر الأخرى ضمنها، إما بشكل آلي أو يدوي من خلال التدخل الإنساني، وذلك على عدة مستويات وبتقنيات رقمية كثيرة (حساسات، محركات، أجهزة تحكم وتقنيات اتصال). ويمكن اعتبار العمارة التكيفية الإطار المحدد لمجموعة متنوعة من النهج المختلفة (النهج الذكي، التفاعلي، المستجيب، المرن). ولكل واحدة من النهج السابقة دلالات خاصة ومحور التركيز والدراسة الخاص بها، لكن يبقى نهج العمارة التكيفية مستقل، وتكون فيه عمليات التصميم متكيفة حسابياً مع البيانات المستمدة من البيئة داخلية كانت أم خارجية [13].

3- مفهوم الأغلفة التكيفية "Adaptive envelopes":

الأغلفة التكيفية: هي أغلفة تتكيف بشكل ديناميكي مع الظروف البيئية المتغيرة المحيطة بالمبنى بهدف توفير بيئة داخلية مريحة لشاغليه من خلال توفير الظروف الداخلية المناسبة (التظليل، التحكم في كمية الإشعاع الشمسي الداخل إلى المبنى، التحكم في انتقال الحرارة، توفير الإضاءة الطبيعية، توفير التهوية الطبيعية، السيطرة على الرطوبة، العزل الصوتي...)، إذ أنها قادرة على الاستجابة للتغيرات في البيئة الخارجية بصورة ديناميكية، وعلى تعديل مرور الطاقة بين الداخل والخارج، كما يوضح الشكل (1). وذلك باستخدام:

الشكل (1). نماذج عن الأغلفة التكيفية القادرة على الاستجابة للتغيرات في البيئة الخارجية بصورة ديناميكية [1].

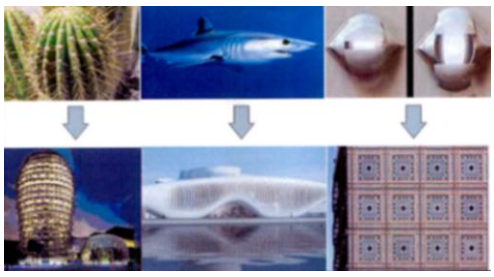
- أنظمة متحركة (تعتمد على التغيرات في الشكل الفيزيائي للمواد الذكية).
- أنظمة ساكنة (تعتمد على خصائص المواد الذكية المستخدمة). لتحقيق هدف التكيف مع المناخ [12].

آليات الأغلفة التكيفية: هناك مستويان من الآليات للسلوك التكيفي:

- **على المستوى الكلي:** يمكن تمييز هذا المستوى من الآليات بالعين المجردة وغالباً ما يترافق بحركات مثل الطي والدوران وغيرها. المبدأ الأساسي لآلية التكيف على المستوى الكلي عادة ما يكون كهربائي ويتم تشغيلها بواسطة أجهزة استشعار. تميل هذه الآليات إلى أن تكون أكثر ميكانيكية من المستوى الجزئي، وهذا ما يجعل صيانتها أكثر صعوبة منه.
- **على المستوى الجزئي:** كما يوحي الاسم تحدث فيه تغيرات جزئية على نطاق أصغر في المادة المستعملة نفسها، أي تغيير في خصائص المواد، وتكون غير مرئية في الغلاف [14].

3-1- الأغلفة التكيفية المستمدة من الطبيعة "BKE"[1]

(محاكاة الفعاليات الأحيائية): وهي استراتيجية مستخدمة لتطوير أنماط جديدة من الأغلفة قائمة على تحليل الأنظمة البيولوجية الطبيعية، وتتأسس على فكرة كون الأنظمة الطبيعية ذاتية التنظيم تستخدم الحد الأدنى من الموارد الطبيعية، كما تعرف على أنها تطبيق مبادئ التصميم المشتقة من الطبيعة [15]، كما يوضح الشكل (2).

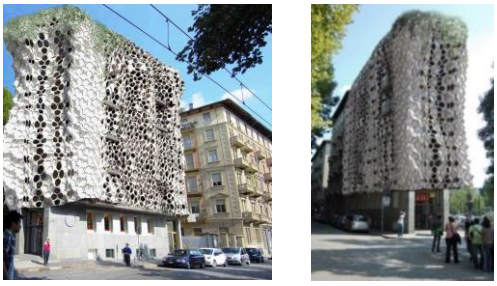


الشكل (2). نماذج عن الأغلفة التكيفية المستمدة من الطبيعة [2].

[1] **"BKE" :"Bio-inspired Kinetic Envelopes."**

إذ تتمكن الكائنات الحية من خلال التأقلم البيولوجي من الحفاظ على ظروف معينة داخل جسمها ضمن حدود معينة، وذلك من خلال التغيرات الشكلية والسلوكية والجسدية والكيمياء الحيوية بناءً على التغيرات في الظروف المناخية المحيطة. وبناءً على ذلك تحقق النماذج البيولوجية كفاءة عالية [16].

يبين الشكل (3) مثال عملي لتطبيقات الأنظمة الذكية المستمدة من الطبيعة وهي غلاف ذكي متكيف مضاف على واجهة سكنية في تورينتو، إيطاليا 2010م. يترجم هذا المثال حالة مبنى قائم تتكامل فيه أنظمة البناء مع استخدام تكنولوجيا ذكية وخصائص مستوحاة من علم البيولوجيا من خلال الواجهة الذكية [17].



الشكل (3). غلاف ذكي متكيف مضاف على واجهة سكنية في تورينو، إيطاليا، من تصميم "ted Ngai, Ceasare Griffa" عام 2010م. تمت محاكاة خصائصه من السمات الجوهرية لعملية التنفس للإغوانا (السحلية المائية)، حيث تمت استعارة كيفية تخزين الحرارة وإطلاق الهواء البارد، وبالتالي تطوير غلاف يستجيب للظروف المناخية لمدينة تورينو [17].

3-2- أغلفة الأبنية المتكيفة مع المناخ "CABS"[2]: تم وصفها في سياق التكيف بمصطلحات مختلفة منها (النشيطة والمتقدمة والديناميكية والذكية والتفاعلية والحركية والمستجيبة وقابلة للتحول وغيرها الكثير)، وتُعرَّف بالأغلفة التي لديها القدرة على التغيير المتكرر والقابل للانعكاس لوظائفها وخصائصها وسلوكها مع مرور الوقت استجابة لمتطلبات تغير الأداء وشروط الفراغ المختلفة، وذلك بهدف تحسين أداء البناء بيئياً بشكل عام ووظيفياً بشكل خاص، تتميز هذه الأغلفة بوجود حساسات خارجية، وتتسم بالقدرة على الحركة (انزلاق أو طي أو سحب وغيرها) لاختيار توضع مناسب، وبالتالي تامين بيئة داخلية مريحة [18]. هناك العديد من الأمثلة القائمة لأنظمة البناء التكيفية، والتي يقع أغلبها في المستوى الكلي للآليات وعادة ما تحكمها أنظمة التحكم المحوسبة [19].

الشكل (4). مكتبة Surry Hills في سيدني، المصممة من قِبل "FJMT" (Francls-Jones Modern Throp) عام 2009م. تتميز واجهتها بأنها مضاعفة وترتبط بنظام يتحكم بالمناخ الداخلي من خلال التحكم بالتظليل الشمسي وتعديل التهوية عن طريق حركة عناصر الواجهة الخشبية التي تدور حول محور رأسي لكل منها [20] [21].

[2] **"Climate adaptive building shells." :"CABS"**

الشكل(5). أبراج البحار في أبو ظبي المصمم من قِبل "The London-Based Aedas" عام 2012م. يمثل غلافها مثال لغلاف تكيفي مضاف لتظليل أجزاء من الفتحات الخارجية وحماية الفراغات الداخلية من أشعة الشمس المباشرة، حيث تعمل مكونات الغلاف وفق معادلات خاصة بحيث تغير توضعها حسب زاوية ورود الشمس وبتحكم مباشر من قبل الشاغل [19].

يبين الشكل (6) تصميم تايلر شورت "Tyler Short" المهندس المعماري في جامعة أوريغون وهو نظام ساترات خارجية صمم كبديل عن التظليل التقليدي للنوافذ. الساترات عبارة عن وحدات خشبية مستطيلة الشكل تتحرك في ثلاثة أبعاد للتكيف مع أشعة الشمس في أوقات مختلفة من النهار، ويمكن برفعها أن تشكل مظلة أفقية للنوافذ كما يوضح الشكل (6)، ويمكن التحكم فيها يدوياً أو آلياً بشكل محوسب.

الشكل (6). نظام ساترات تكيفي (Penumbra)[3] [19].

4- وظائف الأغلفة التكيفية:

يمكن توفير الوظائف التالية للمبنى من خلال استخدام الأغلفة التكيفية:

4-1- الوظائف البيئية: وتتعلق بتحسين ظروف المناخ الموضعي للبيئة الداخلية من خلال استخدام المواد الذكية لتحقيق وظائف بيئية متعددة منها:

- التحكم في الإشعاع الشمسي الداخل من خلال السيطرة على كمية الأشعة الشمسية.
- التحكم في الإضاءة الطبيعية الداخلة.
- التحكم في درجة الحرارة: توفير مستويات عالية من الراحة الحرارية بتقليل فقدان واكتساب الحرارة.
- التحكم في التهوية الطبيعية الداخلة للمبنى لتوفير جودة هواء مثلى للفضاءات الداخلية كتوفير درجة نقاوة هواء داخلية مناسبة، والحماية من الريح، ومنع الروائح غير المرغوب بها والملوثات، وتحديد تسلل الهواء.
- السيطرة على الرطوبة: الحماية من المطر والثلج، ومن تكثف الماء، والسيطرة على نسبة الرطوبة.
- التقليل من الرياح: إحكام الإغلاق باتجاه الرياح.

[3] **"Penumbra": "A kinetic day lighting and shading system."**

- العزل الصوتي وتنظيم الصوت المرتفع من محيط المبنى [22].

4-2- وظائف الاقتصاد بالطاقة: من خلال:

- ترشيد استهلاك الطاقة المستخدمة لإنارة وتدفئة وتكييف الفراغات الداخلية من خلال التحكم في كل من الطاقة الشمسية وضوء النهار والتهوية الطبيعية.
- توفير إمكانية استحصال الطاقة الكهربائية النظيفة بتحويل الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح وغيرها إلى طاقة كهربائية واستخدامها في تشغيل المبنى [22].

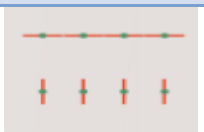
4-3- الوظائف الجمالية: عن طريق:

- التغير في المظهر الناتج عن إعادة تشكيل الغلاف الخارجي من خلال استجابة الأجزاء المكونة للغلاف للتغيرات في البيئة الخارجية مما يزيد من الطابع الجمالي والشخصية المميزة للمبنى.
- استلهام آلية التكيف من الطبيعة حيث تمثل هياكل الكائنات الحية مصدراً لإلهام المعماريين لخلق التصاميم الكفؤة بيئياً وجمالياً [22].

5- أنواع الأنظمة المستخدمة في الأغلفة التكيفية:

5-1- الأنظمة المتحركة "Kinetic Systems": وهي الأنظمة التي تعتمد على توظيف المواد الذكية في مكونات الغلاف، إذ يتألف الغلاف من عناصر ليست حاملة، وإنما قادرة على التغيير الذاتي وبشكل ديناميكي استجابة للظروف البيئية الخارجية، ومصممة لتوفير الحماية البيئية للمبنى والراحة الداخلية للساكنين باستهلاك أقل للطاقة. وتعتمد الأنظمة المتحركة على فكرة تحريك مكونات الغلاف من خلال نظام مركزي يشمل كل المبنى، أو السيطرة على كل طابق على حدة، أو السيطرة على كل مكون ليعمل بشكل مستقل، والذي يسمح أو لا يسمح بتدخل المستخدم، وتعتمد حركة هذه المكونات إما على التدخل الإنساني أو على التغير الاتوماتيكي استجابة للمعلومات التي توفرها المتحسسات وتعالج حاسوبياً لتظهر بشكل مخرجات كاستجابة للتغير في الظروف الخارجية [23]. وتتغير أجزاء ومكونات الغلاف التكيفي ذو النظام المتحرك وفق عدة أنماط حركية مختلفة تعدل على هندسة وشكل الغلاف [24]، كما يوضح الجدول (1).

الجدول (1). الأنماط المختلفة للحركة في الأنظمة المتحركة:

الطي "Folding"	الفتح والغلق	الدوران "Rotating"	الانزياح "Shifting"
هو نمط الحركة الذي يقوم على فكرة طي وانبساط مكونات الغلاف.	هو نمط الحركة الذي يقوم على فكرة فتح وغلق مكونات الغلاف.	هو نمط الحركة الذي يقوم على فكرة دوران مكونات الغلاف.	هو نمط الحركة الذي يقوم على فكرة انزياح وتغيير مكان مكونات الغلاف.
			

إنَّ العنصر الرئيسي الذي يتحكم في الأنظمة التكيفية هو **المعلومات**، ومن أجل دراسة آلية عمل الأغلفة التكيفية في الأنظمة المتحركة يجب فهم عملية تدفق المعلومات في نظام التحكم فيها. **حيث تتدفق المعلومات بشكل أساسي في ثلاث نقاط رئيسية:**

- المدخِلات (أجهزة الاستشعار/الحساسات).
- المعالج (الكمبيوتر المركزي).
- المخرج (المحرك) [25].

تتدفق المعلومات من المدخِلات (أجهزة الاستشعار/الحساسات) إلى المعالج (الكمبيوتر المركزي) لتحريك مكونات الغلاف وتغيير النمط الهندسي من خلال مشغل (محرك). حيث يتم قياس بيانات الإدخال باستخدام أجهزة الاستشعار (الحساسات)، وترسل أجهزة الاستشعار (الحساسات) البيانات التي تم جمعها إلى المعالج (الكمبيوتر المركزي) والذي يحتوي على تطبيق رسومي يعمل وفقاً للمنطق المثبت داخله، وهو مسؤول عن اتخاذ القرار (المخرَجات) الذي يتم إرساله إلى المشغلات (المحركات). ومن خلال معرفة موقع المبنى ذو الغلاف التكيفي واليوم والوقت يمكن للمعالج توفير حالة التكيف المطلوبة استجابة للمتغيرات البيئية، حيث يتم إرسال بيانات الإخراج إلى المشغل (المحرك) مع مقدار الفتح أو الإغلاق واتجاه الحركة أو زاوية الدوران. وتؤدي حركة المشغل (المحرك) هذه إلى حركة مفاصل النموذج الهندسي المطبق على الغلاف التكيفي [26].

5-2- الأنظمة الساكنة "Static Systems": وهي الأنظمة التي تعتمد على استخدام المواد الذكية القادرة على التفاعل والتكيف الذاتي استجابة للظروف الداخلية والخارجية، فقد عرفها أكسيل ريتيل "Ritter Axel"[4] **على أنها:** "المواد التي تمتلك صفاتاً متغيرة وقادرة على التغير الانعكاسي في الشكل أو اللون استجابةً للتأثيرات الكيميائية أو الفيزيائية وبشكل متكرر وأحياناً توصف بأنها **مواد متكيفة**" [27]. مثل الزجاج القابل لتغيير لونه ذاتياً تبعاً لتغير شدة الضوء، والزجاج القابل لتغيير شفافيته بالتحكم بمرور التيار الكهربائي فيه...الخ [28]. ويعتمد التكيف في هذه الأنظمة على التنظيم الذاتي للمواد الذكية المستعملة (خصائصها)، **والتي يمكن تصنيفها إلى:**

- **المواد متغيرة الصفات:** والتي تستجيب بتغيير بنيتها الداخلية استجابةً لمتغيرات البيئة المحيطة بها. وتدخل ضمنها المواد المتغيرة اللون والمواد البولميرية الموصلة للكهرباء ومواد الكريستال السائل.
- **المواد المحولة للطاقة:** والتي يمكن أن يسيطر عليها بالحاسوب، مثل المواد المشعة للضوء والمواد الكهروضوئية والمواد الكهروحرارية والمواد الإجهادية/الكهربائية والمواد المتذكرة الشكل [22].

6- آليات التكيف المستخدمة في الأنظمة المتحركة:

6-1- الآليات المحركة اعتماداً على النظم الكهربائية: تقوم هذه الأنظمة على وسائل ميكانيكية تتطلب استهلاك طاقة لازمة لتشغيلها. ويتكون النظام من شبكة من المكونات القابلة للطي أو للفتح والغلق أو الدوران...الخ، وذلك حسب الميكانيكية المعتمدة في التشغيل. وتتصف بكونها بحاجة إلى صيانة مستمرة للمحركات المشغلة للتراكيب المحركة [29].

6-1-1- آلية الطي "Folding": تقوم هذه الآلية على فكرة طي وانبساط المكونات المشكلة للتراكيب التي ترتب بشكل شبكة تغطي الغلاف.

مثال (1): مبنى شركة Kiefer technic في استراليا: من تصميم "Ernst Giselbrecht" وشركاه عام **2011م،** وهو مبنى إداري يتكون غلافه من عدة طبقات من العناصر العمودية والأفقية من الألمنيوم مغلفة بمادة (EIFS) البيضاء اللون. وتدار الألواح المكونة للغلاف والمستخدمة في تظليل النوافذ الزجاجية الكترونياً لتعديل المناخ الداخلي

[4] **أكسيل ريتيل "Ritter Axel": مهندس معماري ومصمم متخصص في استخدام التراكيب والمواد الذكية في العمارة المتحركة والمستجيبة.**

للمبنى مولدة تلاعباً ديناميكياً في الغلاف خلال فتحها وإغلاقها، كما يوضح الشكل (7). يتم السيطرة على الواقيات الشمسية في الغلاف كهربائياً، ليتخذ الغلاف شكلاً متغيراً كل ساعة، ويمكن تغيير حركتها بشكل مستقل حسب رغبة المستخدم [30].

الشكل (7). آلية التكيف في غلاف مبنى شركة Kiefer technic (عناصر من الالمنيوم قابلة للطي لتظلل النوافذ الزجاجية) [31].

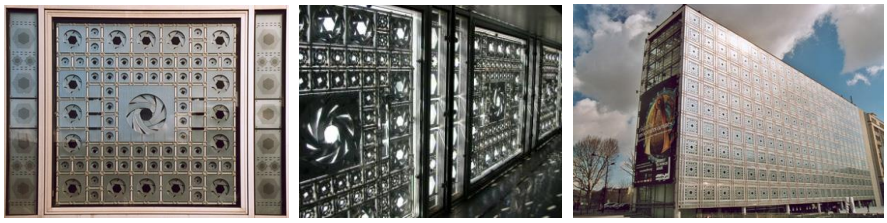
مثال (2): أبراج البحار في أبو ظبي: من تصميم "The London-Based Aedas" عام **2012م**، وهي عبارة عن برجين إداريين يتكون كل منهما من 29 طابق، الأول صمم ليكون مقراً لمجلس الاستثمار لأبو ظبي، والثاني ليكون مقراً لبنك الهلال. استخدم في الغلاف نظام تظليل شمسي متقدم وتفاعلي، متكون من تراكيب ذات شكل مثمن تتفاعل مع الشمس لتستجيب بالفتح والانغلاق، كما يوضح الشكل(8). وتم استلهام فكرة تصميم الغلاف من المشربية التقليدية، وهي هيكل متشابك يستعمل للتظليل في المباني التقليدية.

الشكل(8). آلية التكيف في غلاف أبراج البحار (متحسسات للضوء تتحكم في تراكيب ذات شكل مثمن تتفاعل مع الشمس) [3].

كما تم تصميم الغلاف ليتكون من 1000 مكون مستقل للتظليل، مسيطر عليها بواسطة نظام إدارة المبنى. ويدار كل مكون بواسطة محرك كهربائي مستقل يتحكم به حاسوب مركزي. كما زودت التراكيب المظللة بمتحسسات إضافية لاتخاذ رد الفعل المناسب في حالة الظروف القاسية [3]. وتقوم هذه التراكيب بتقليل التوهج وتحسين كمية الضوء النهاري الداخل لتقليل الاعتماد على الإضاءة الصناعية، وتقليل 50% من الحرارة المكتسبة. كما تعمل الخلايا الضوئية المثبتة على الأسطح التي تواجه الجنوب من كلا البرجين على توليد ما يقارب 5% من الطاقة اللازمة لتشغيل المبنى [32].

6-1-2- آلية الفتح والغلق: تقوم هذه الآلية على فكرة فتح وغلق المكونات المشكلة للتراكيب التي ترتب بشكل شبكة تغطي الغلاف.

مثال: معهد العالم العربي "The Arab World Institute" في باريس: من تصميم "Jean Nouvel" عام **1987م**، وهو مبنى إداري ومتحف ومكتبة، يتكون من 12 طابق. تم إكساء الواجهة الجنوبية بقشرة تتحكم بكمية دخول أشعة الشمس وتحتوي هذه القشرة على شبكة تتوزع فيها عدسات أوتوماتيكية متحسسة للضوء على طول الواجهة للتحكم في دخول الضوء إلى الفضاءات الداخلية من خلال غلق وفتح حواجز من الألمنيوم كما يوضح الشكل (9)، تم ترتيبها بأنماط تشكيلية هندسية، حيث تتكون من 240 جزء لتغطية الزجاج [3]. ويتم التحكم بهذه التشكيلات عن طريق محرك كهربائي يتم تشغيله كاستجابة لكمية الضوء التي تستلمها العدسات. وقد أثبتت هذه الحواجز فعاليتها في الحماية الشمسية في البداية، لكنها لم تعد تعمل حالياً بسبب مشاكل ميكانيكية [29].



الشكل (9). آلية التكيف في غلاف معهد العالم العربي (عدسات اوتوماتيكية من الألمنيوم متحسسة للضوء قابلة للفتح والغلق) [3].

6-1-3- آلية استخدام الطبقات "Layering": تقوم هذه الآلية على فكرة تكون الغلاف من عدة طبقات مسؤولة عن تظليل الزجاج.

مثال: برج الدوحة في مدينة الدوحة في قطر: من تصميم "Jean Nouvel" عام **2012م**، وهو مبنى إداري يتكون من 46 طابق، ويعكس اللغة التصميمية في الطراز الإسلامي النمطي. يتكون الغلاف من جدران ستائرية محاطة بأنماط هندسية معقدة مكونة من 4 طبقات من الحواجز المتحركة المستقلة في حركتها، كما يوضح الشكل (10). وتغير الطبقة الخارجية من ترتيبها ضمن الشكل الهندسي تبعاً لشدة الضوء التي يتم قياسها بواسطة مئات من المتحسسات المنتشرة في القشرة الخارجية، وتعمل هذه الحواجز المتحركة كنظام حامي من أشعة الشمس ويساعدها في ذلك استعمال الزجاج العاكس المستخدم في الجدران الستائرية [3].

الشكل (10). آلية التكيف في غلاف برج الدوحة (متحسسات للضوء تتحكم في تشغيل حواجز من الحديد غير القابل للصدأ) [3].

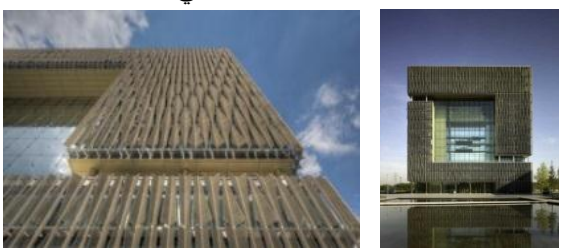
6-1-4- آلية الدوران (الالتفاف) "Rotating": تقوم على فكرة دوران المكونات المشكلة للتراكيب التي ترتب بشكل شبكة تغطي الغلاف، أو تثبيت عناصر قابلة للالتفاف على أجزاء الغلاف التي تتطلب ذلك، ويتم تحريك هذه العناصر أوتوماتيكياً.

مثال(1): Korea world pavilion expo 2012: من تصميم "Soma Architecture". يتكون الغلاف من واقيات شمس مكونة من أشرطة بعدد 108 شريط، مثبتة من الأعلى والأسفل في حافات الواجهة. الأشرطة مصنوعة

من مادة البوليمر المقوى بالألياف مما يعطيها قوة عالية لمقاومة الشد ومقاومة الانحناء، وهي قابلة للاستجابة لتغير ظروف ضوء الشمس ومتطلبات التهوية من خلال التحكم بها بواسطة محركات كهربائية صغيرة، كما يوضح الشكل (11). والتي تقوم بغلقها جميعاً عدا 13 شريط خلال هبوب الريح القوية. كما أن المبنى يعتمد على الشمس في توليد الطاقة عن طريق الخلايا الشمسية على السطح التي توفر ثلثي استهلاك المبنى من الطاقة [31].

الشكل (11). آلية التكيف في غلاف Korea world pavilion expo 2012 (عناصر عمودية من البوليمر المقوى قابلة للالتفاف) [31].

مثال (2): مبنى The Q1 Headquarters في ايسن في ألمانيا: من تصميم "Chaix & Morel" عام **2010م**، وهو مجمع إداري بارتفاع 10 طوابق. وهو من الأمثلة التصميمية على الغلاف المتكيف المستوحى من الطبيعة حيث أن مصدر الاستيحاء هو العضلات في جسم الكائن الحي. صُمِم غلاف المبنى الزجاجي الواسع بحيث يُغطى جزئياً بغلاف من شبكة معدنية تتكون من عناصر قابلة للتحريك من الحديد غير القابل للصدأ والتي توفر الحماية من الشمس، وتفتح وتغلق تلقائياً تبعاً لشدة ضوء النهار الخارجي كحاجز للوقاية من الشمس. ويتكون الغلاف من 400000 ريشة معدنية تتحكم بها محركات كهربائية ولها ثلاث أشكال رئيسية وهي: المربع والمستطيل والمثلث، وكلها قابلة للالتفاف والطي من خلال محرك [3]، كما يوضح الشكل (12). وصممت لتنفتح وتنغلق تلقائياً استجابة لكمية الضوء الداخلة إلى المبنى، فحين تسقط أشعة الشمس بشدة معينة ينتقل تيار كهربائي للأجزاء المتحركة مما يؤدي إلى تشويهها، مما يجعل الغلاف وكأنه يسلك سلوك الكائن الحي [33].



الشكل (12). آلية التكيف في غلاف مبنى The Q1 Headquarters (استخدام الريش المعدنية القابلة للدوران استجابة لكمية الضوء الداخلة إلى المبنى) [3].

مثال (3): مبنى Design Hub بالمعهد الملكي للتكنولوجيا "RMIT" في مدينة ميلبورن في استراليا: من تصميم "Sean Godsell Architects" عام **2012م**. صمم غلاف المبنى من طبقتين، تتكون الطبقة الخارجية مما يقارب 1650 قرص من الزجاج الشفاف المتكرر على 4 مستويات من المبنى المكون من 8 طوابق. وتقوم مجموعات معينة من تلك الأقراص بالحركة استجابة لحركة الشمس، فتقوم الأقراص بالدوران حول محور عمودي في ثلاث واجهات وحول محور أفقي في الواجهة الرابعة لتقليل الحرارة المكتسبة من الشمس على مدار اليوم [3]، كما يوضح الشكل (13).

الشكل (13). آلية التكيف في غلاف مبنى Design Hub (أقراص زجاجية قابلة للدوران استجابة لحركة الشمس) [3].

6-2- الآليات المحركة اعتماداً على النظم الهيدروليكية: تقوم على فكرة كونها أنظمة تعتمد في تشغيلها على نظام هيدروليكي مسيطر عليه بالحاسوب.

مثال: مبنى Council House في مدينة ملبورن في استراليا: من تصميم "Design Inc" عام **2006م**، وهو مبنى إداري بارتفاع 10 طوابق. غلاف المبنى مكون من طبقتين، تتكون الخارجية منها من شبكة شرائح عامودية من الخشب، قابلة للإغلاق والفتح تعمل وفقاً لموجهات متحركة بالاعتماد على نظام هيدروليكي لحماية الداخل من أشعة الشمس من خلال تتبع حركة الشمس في الصيف وتوفير الظل [29]، كما يوضح الشكل (14). وتعتمد الشرائح في حركتها على متحسسات من خلايا كهروضوئية منتشرة في الشبكة. وتقوم أنظمة الغلق بالانغلاق أتوماتيكياً لتظليل 95% من الواجهة الغربية، وتنفتح ليلاً لتوفير التهوية. كما تم استعمال أكثر من وسيلة لتحقيق الاستدامة وهي توفير إمكانية التهوية الطبيعية وتقنيات التظليل والحفاظ على الطاقة من خلال استعمال الإضاءة الطبيعية واستحصال الطاقة. ساهمت الحلول المستدامة في تقليل 85% من استهلاك الكهرباء في المبنى [34].

الشكل (14). آلية التكيف في غلاف مبنى Council House (شرائح عامودية من الخشب متحركة بنظام هيدروليكي لحماية الداخل من أشعة الشمس) [3].

6-3- الآليات المحركة اعتماداً على النظم المنفوخة: تقوم على فكرة وجود شبكة من الوسائد القابلة للنفخ بالاعتماد على آلية ذاتية للمواد في الانتفاخ أو عدمه. وتشهد الفترة الأخيرة زيادة في استعمال هذا النوع بأنماط شكلية متعددة ويتكون النظام من عدة طبقات من مادة (ETFE).

مثال: مبنى Media Tic في برشلونا في إسبانيا: من تصميم "Could 9 Architects" عام **2011م**، يتكون الغلاف من شبكة من الوسائد من مادة (ETFE)، وتتكون هذه الوسائد من ثلاث طبقات تكون الأولى شفافة أما الباقيتان فمنظمة بتشكيلات هندسية متعاكسة بحيث تخلق الظل في حالة انتفاخها، كما يوضح الشكل (15). حيث في

فترة ما بعد الظهر تنتفخ هذه الوسائد لتقلل 90% من الأشعة الشمسية. وبالتالي يقوم الغلاف بترشيد حوالي 20% من استهلاك طاقة المبنى [29].

الشكل (15). آلية التكيف في غلاف مبنى Media Tic (شبكة من الوسائد من مادة ETFE تخلق الظل في حالة انتفاخها) [29].

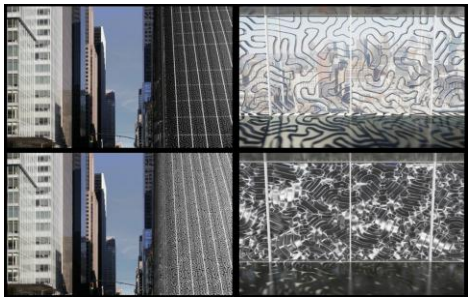
7- آليات التكيف المستخدمة في الأنظمة الساكنة:

7-1- آلية التحكم في نفاذية الضوء خلال المواد: وذلك باستخدام عارضات الكريستال السائل أو ألواح الدقائق المعلقة.

مثال: مبنى East Wintergarden في لندن: من تصميم "Cesar Pelli" عام **2011م**، يتكون المبنى من قاعة رئيسية ومعرض وحديقة داخلية. يغطي المبنى هيكل مقوس شبكي مغطى بالألواح الزجاجية. تم استخدام زجاج (LC) الذي يوفر سيطرة لحظية دقيقة استجابة لمتغيرات البيئة الخارجية، ويتحول من الشفافية إلى الاعتمام لتقليل التوهج وتوفير الخصوصية، كما تتوفر إمكانية السيطرة اليدوية في حالة الرغبة بذلك. كما استخدمت طبقات رقيقة من مادة (Microperforated Polycarbonate) لتغطية الزجاج والتي تقوم بتحويل الطاقة الصوتية إلى طاقة حرارية، وبالتالي تقلل مستويات الصوت في الفضاءات الداخلية [35].

7-2- آلية توظيف المواد الذكية المتذكرة لشكلها (نظام العضلات الاصطناعية): تقوم على فكرة محاكاة طريقة عمل العضلات في الأنظمة البيولوجية [4]. تعتبر آلية عمل العضلات في الكائن الحي معقدة ومحاكاتها تتطلب مواد ذات خصائص ميكانيكية تقوم بالفعالية نفسها إذ تتشوه عند مرور شحنة كهربائية خلالها [1].

مثال: مبنى LLC في مدينة نيويورك في أمريكا: من تصميم "Decker Yeadon" عام **2006م**، يتكون غلاف المبنى من طبقين من الزجاج تحصر بينهما قشرة، استخدمت فيها المواد التي تتذكر شكلها عند درجات معينة من الحرارة، للسيطرة على كمية الحرارة المكتسبة من خلال تغير ذاتي في الشكل يتناسب مع تغير درجة الحرارة [36]، كما يوضح الشكل (16). حيث تستجيب القشرة المكونة من شرائح مستقلة من الأضلاع القابلة للدوران التي تتكون من مواد مطاطية شبيهة بالبوليمر إلى التغييرات البيئية، وهي تتذكر شكلها وتستجيب لدرجة حرارة محددة، وتقوم المواد نفسها بمهام التحسس والحركة ذاتياً، إذ تعمل كمتحسسات و محركات في آن واحد بدون الحاجة إلى أجهزة حاسوب لتوجهها ولا إلى كهرباء، وذلك باستخدام نظام العضلات الاصطناعية والذي يحاكي استجابة عضلات الكائنات الحية حركياً بفعل الحافز العصبي. يتسبب التغير والتفاعل مع شدة الضوء لمكونات الغلاف خصوصية في مظهرها إذ تقوم شبكة الأضلاع القابلة للدوران من المواد المطاطية الشبيهة بالبوليمر متذكرة للشكل بالانبساط والانقباض تبعاً لدرجة الحرارة [4]، وهي مصممة لتقليل 40% من الأشعة الداخلة عبر الغلاف [36].



الشكل (16). آلية التكيف في غلاف مبنى LLC (شبكة من الأضلاع القابلة للدوران من مواد مطاطية متذكرة للشكل) [4].

7-3- آلية توظيف المواد متغيرة الطور: من خلال توظيف المواد متغيرة الطور، حيث يمكن استخدام هذه المواد كأملاح الهيدريت داخل ألواح مجوفة من البلاستك وتقوم حرارة الشمس في النهار بتحويل الأملاح من الحالة الصلبة إلى السائلة لتخزن فيها الحرارة بشكل كامن وفي الليل يتم تحريرها إلى الفضاء لتعود إلى حالتها الصلبة.

مثال: الواجهة الأمامية لمبنى سكن المتقاعدين Domat-Ems في سويسرا: عام **2005م**، والتي استخدمت فيها الزجاج العازل بالمواد المتغيرة الطور من نوع أملاح الهيدرات لخزن الحرارة ثم تحريرها ليلاً [27].

8- الدراسة التحليلية: تمت من خلال:

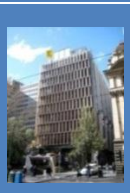
- توضيح الأنظمة وآليات التكيف المستخدمة في الأمثلة السابقة وتأثيرها على كفاءة المبنى.
- إجراء مقارنة تحليلية بين عدد من الأمثلة السابقة من حيث تأثير النظام والآلية المستخدمة في كل منها على كل من الكفاءة البيئية، كفاءة الاقتصاد بالطاقة والكفاءة الجمالية للتوصل إلى النظام والآلية الأمثل في تحقيق كل كفاءة. وقد تم تحديد الأمثلة المدروسة في المقارنة وفقاً لإمكانية الحصول على المعلومات القابلة للقياس كما تم تحديد عدة معايير لقياس كل كفاءة والتي تم استنتاجها من الدراسة النظرية والمتمثلة في الجدول (2)، وإعطاء نسبة 20% لتحقيق كل معيار من المعايير في أغلفة الأمثلة المدروسة في المقارنة.

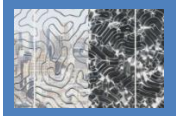
الجدول (2). معايير تحقيق كل من الكفاءة البيئية وكفاءة الاقتصاد بالطاقة والكفاءة الجمالية التي تم استنتاجها من الدراسة النظرية:

معايير تحقيق الكفاءة البيئية	معايير تحقيق كفاءة الاقتصاد بالطاقة	معايير تحقيق الكفاءة الجمالية
الحماية من الإشعاع الشمسي.	ترشيد استهلاك الطاقة.	التغير في الشكل.
توفير الإضاءة الطبيعية.	توليد الطاقة.	استلهام آلية التكيف من الطبيعة.
توفير التهوية الطبيعية.	انخفاض طاقة التشغيل.	وجود استعارة رمزية.
التقليل من الرياح.	سهولة أعمال الصيانة.	التوازن بين مكونات الغلاف.
العزل الصوتي.	انخفاض تكاليف الإنشاء.	التلاؤم مع روح المكان.

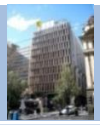
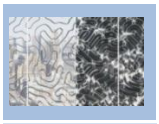
الجدول (3). يوضح الأنظمة وآليات التكيف المستخدمة في الأمثلة السابقة وتأثيرها على كفاءة المبنى:

الأمثلة		آلية التكيف المستخدمة في الغلاف	الكفاءة المحققة		
			الكفاءة البيئية	كفاءة الاقتصاد بالطاقة	الكفاءة الجمالية
					التغير الشكلي
					استلهام آلية التكيف من الطبيعة/ وجود استعارة رمزية
الأنظمة المحركة اعتماداً على النظم الكهربائية					
مبنى شركة Kiefer technic	آلية الطي	عناصر من الالمنيوم قابلة للطي لتظلل النوافذ الزجاجية.	تظليل النوافذ الزجاجية الكترونياً لتعديل المناخ الداخلي.	الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال طي عناصر الألمنيوم.	ـــــــــ
أبراج البحار		متحسسات للضوء تتحكم في تراكيب ذات شكل مثمن تتفاعل مع	تقليل التوهج وتحسين كمية الضوء النهاري الداخل لتقليل	-الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتقليل 50% من الحرارة المكتسبة.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال غلق وفتح	-استلهام آلية التكيف من غلق وفتح بعض انواع الورود استجابة للشمس.

		الشمس لتستجيب بالفتح والانغلاق.	الاعتماد على الإضاءة الصناعية.	–توليد ما يقارب 5% من الطاقة اللازمة لتشغيل المبنى.	التراكيب ذات الشكل المثمن.	–استعارة شكل المشربية التقليدية.
معهد العالم العربي	آلية الفتح والغلق	عدسات اوتوماتيكية من الألمنيوم متحسسة للضوء قابلة للفتح والغلق.	التحكم في دخول الضوء إلى الفضاءات الداخلية بغلق وفتح العدسات.	تعطل النظام حالياً بسبب مشاكل ميكانيكية.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال غلق وفتح العدسات الاوتوماتيكية.	– استلهام آلية التكيف من آلية تغيير فتحة البؤبؤ في العين بفعل تغير شدة الضوء. –استعارة شكل المشربية التقليدية.
برج الدوحة	آلية استخدام الطبقات	متحسسات للضوء تتحكم في تحريك الحواجز المصنوعة من الحديد غير القابل للصدأ.	الحواجز المتحركة تعمل كنظام حامي من أشعة الشمس.	الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس من خلال تظليل 40% من الواجهة الجنوبية و60% من الواجهة الغربية.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال تحريك الحواجز المصنوعة من الحديد.	–استلهام آلية التكيف من فتح وغلق مسامات سطح نبات الصبار. –استعارة شكل المشربية التقليدية.
Korea world pavilion expo 2012	آلية الدوران (الالتفاف)	عناصر عمودية من البوليمر المقوى قابلة للالتفاف.	التحكم بالأشرطة وغلقها خلال هبوب الريح القوية.	–الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل تأثير هبوب الرياح القوية. – توفير ثلثي استهلاك المبنى من الطاقة.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال التفاف عناصر البولمير.	استلهام آلية التكيف من آلية التنفس باستخدام الخياشيم عند الأسماك.
مبنى Q1		استخدام الريش المعدنية القابلة للدوران استجابة لكمية الضوء الداخلة إلى المبنى.	الحماية من دخول الأشعة الشمسية.	الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس من خلال تقليل 25% من الأشعة الداخلة عبر الغلاف.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال دوران الريش المعدنية.	استلهام آلية التكيف من آلية انبساط وتمدد العضلات في جسم الكائن الحي.
مبنى Design Hub		أقراص زجاجية قابلة للدوران استجابة لحركة الشمس.	تقليل الحرارة المكتسبة من الشمس على مدار اليوم.	الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال دوران الأقراص الزجاجية.	_____
الأنظمة المحركة اعتماداً على النظم الهيدروليكية						
 مبنى Council House		شرائح عامودية من الخشب متحركة بنظام هيدروليكي لحماية الداخل من أشعة الشمس.	حماية الداخل من أشعة الشمس من خلال تتبع حركة الشمس في الصيف وتوفير الظل.	–الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس من خلال تظليل 95% من الواجهة الغربية. –تقليل 85% من استهلاك الكهرباء في المبنى.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال غلق وفتح الشرائح الخشبية.	استلهام آلية التكيف من حركة الالتفاف في الأوراق النباتية استجابة لضوء الشمس.

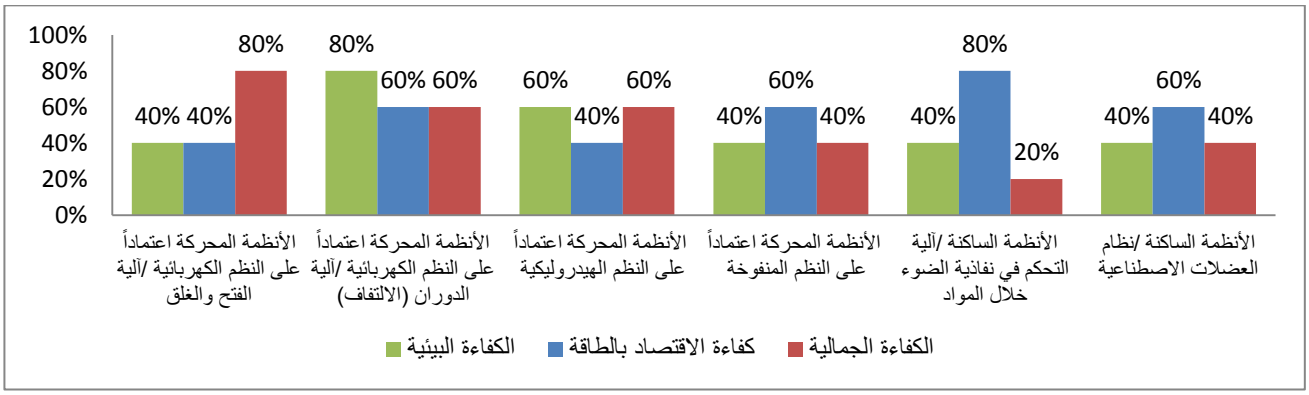
الأنظمة المحركة اعتماداً على النظم المنفوخة					
مبنى Media Tic		شبكة من الوسائد من مادة ETFE تخلق الظل في حالة انتفاخها.	التظليل في حالة انتفاخ الوسائد.	-الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس من خلال تقليل 95% من الأشعة الداخلة عبر الغلاف. -ترشيد حوالي 20% من استهلاك طاقة المبنى.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال انتفاخ الوسائد.	استلهام آلية التكيف من آلية الغلق والفتح المعتمدة على الانتفاخ في النبات.
الأنظمة الساكنة						
مبنى East Wintergarden	آلية التحكم في نفاذية الضوء	استخدام زجاج LC الذي يتحول من الشفافية إلى الاعتمام لتقليل التوهج.	التقليل من التوهج عندما يتحول زجاج LC من الشفافية إلى الاعتمام.	-الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من الشمس. -تحويل الطاقة الصوتية إلى طاقة حرارية.	ـــــــ	ـــــــ
مبنى LLC في نيويورك 	نظام العضلات الاصطناعية	شبكة من الأضلاع القابلة للدوران من مواد مطاطية شبيهة بالبوليمر متذكرة للشكل.	السيطرة على كمية الحرارة المكتسبة من خلال تغير ذاتي في الشكل يتناسب مع تغير درجة الحرارة.	الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس من خلال تقليل 40% من الأشعة الداخلة عبر الغلاف.	إعطاء الغلاف شكلاً متغيراً من خلال دوران شبكة الأضلاع.	استلهام آلية التكيف من استجابة عضلات الكائنات الحية حركيا بفعل الحافز العصبي.
مبنى سكن المتقاعدين Domat-Ems	آلية توظيف المواد متغيرة الطور	استخدام الزجاج العازل بالمواد المتغيرة الطور من نوع أملاح الهيدرات لخزن الحرارة.	خزن الحرارة ثم تحريرها ليلاً.	الاقتصاد بالطاقة اللازمة لتعديل الحرارة المكتسبة من أشعة الشمس.	ـــــــ	ـــــــ

الجدول (4). مقارنة تحليلية بين عدد من الأمثلة السابقة من حيث تأثير النظام والآلية المستخدمة في كل منها على كل من الكفاءة البيئية، كفاءة الاقتصاد بالطاقة والكفاءة الجمالية:

موضوع المقارنة	أبراج البحار	Korea world pavilion	مبنى Council House	مبنى Media Tic	مبنى East Wintergarden	مبنى LLC
شكل الغلاف الخارجي						
نوع النظام	متحرك	متحرك	متحرك	متحرك	ساكن	ساكن
آلية التكيف	آلية الفتح والغلق	آلية الدوران (الالتفاف)	الاعتماد على النظم الهيدروليكية	الاعتماد على النظم المنفوخة	آلية التحكم في نفاذية الضوء خلال المواد	نظام العضلات الاصطناعية

الكفاءة البيئية	الحماية من الإشعاع الشمسي	√	√	√	√	√	√
	توفير الإضاءة الطبيعية	√	√	√	√		√
	توفير التهوية الطبيعية		√	√			
	الحماية من الرياح				√		
	العزل الصوتي					√	
	درجة تحقيق الكفاءة البيئية	**%40**	**%60**	**%40**	**%80**	**%40**	**%40**
كفاءة الاقتصاد بالطاقة	ترشيد استهلاك الطاقة	√	√	√	√	√	√
	توليد الطاقة	√	√		√		
	انخفاض طاقة التشغيل			√		√	
	سهولة أعمال الصيانة			√	√	√	√
	انخفاض تكاليف الإنشاء					√	√
	درجة تحقيق كفاءة الاقتصاد بالطاقة	**%40**	**%40**	**%60**	**%60**	**%80**	**%60**
الكفاءة الجمالية	التغير في الشكل	√	√	√	√		√
	استلهام آلية التكيف من الطبيعة	√	√	√	√		√
	وجود استعارة رمزية	√					
	التوازن بين مكونات الغلاف	√	√			√	
	التلاؤم مع روح المكان				√		
	درجة تحقيق الكفاءة الجمالية	**%80**	**%60**	**%60**	**%40**	**%20**	**%40**

بعد الجدول السابق تم التوصل إلى المخطط التالي الذي يوضح درجات تحقيق كل من أنظمة وآليات التكيف المستخدمة في الأمثلة السابقة لكل من الكفاءة البيئية، كفاءة الاقتصاد بالطاقة والكفاءة الجمالية:



المخطط البياني (1). درجات تحقيق كل من أنظمة وآليات التكيف المستخدمة في الأمثلة السابقة لكل من الكفاءة البيئية، كفاءة الاقتصاد بالطاقة والكفاءة الجمالية.

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1. يتم التحكم في الأغلفة التكيفية ذات الأنظمة الساكنة ذاتياً بالاعتماد على خصائص المواد الذكية نفسها، أما في الأغلفة التكيفية ذات الأنظمة المتحركة يتم التحكم باستخدام المواد الذكية في مكونات الغلاف المتحركة والتي تستلم الإيعازات من حاسوب مركزي يعالج التغير في البيئة الخارجية عبر الحساسات الموزعة في الغلاف وتكون هذه المعالجة لمجموعة كبيرة من المتغيرات.
2. تعد إمكانية تحكم المستخدم ميزة للأنظمة المتحركة تميزها عن الأنظمة الساكنة التي تفتقد بعض أنواعها إلى هذه الخاصية.
3. يمكننا من خلال الدراسة النظرية التوصل إلى آلية عمل الأغلفة التكيفية في كل من الأنظمة المتحركة والساكنة من خلال الجدول التالي:

الجدول (5). آلية عمل الأغلفة التكيفية في كل من الأنظمة المتحركة والساكنة:

نوع النظام	الأنظمة المتحركة	الأنظمة الساكنة
المدخَلات/تحسس المتغيرات البيئية عن طريق مدخِلات (حساسات)	الإضاءة	
	الحرارة	
	التهوية	
	الرطوبة	
	الرياح	
	الصوت	
المعالجة	الكمبيوتر المركزي	رد الفعل آني في الأنظمة الساكنة
المخرِجات	المحركات	خصائص المواد الذكية
المخرَجات	الطي	التحكم في نفاذية الضوء خلال المواد
	الفتح والغلق	
	استخدام الطبقات	السيطرة على كمية الحرارة المكتسبة من خلال توظيف المواد الذكية المتذكرة لشكلها
	الدوران	
	الالتفاف	خزن الحرارة وتحريرها ليلاً من خلال توظيف المواد متغيرة الطور
	الانزياح	

4. استناداً إلى ما تم طرحه في الدراسة النظرية وبعد الحصول على النتائج الموضحة في الجدولين (3) و(4) والمخطط البياني (1) تم التوصل إلى الاستنتاجات الآتية:

- **من ناحية الاستجابة للتأثيرات البيئية:** لا تضمن الأنظمة الساكنة الاستجابة الدقيقة، وإنما فقط تحقيق الملائمة مع المتغيرات المناخية، مثل تعتيم النوافذ كما في حالة الزجاج القابل للتلوين ذاتياً المستخدم في آلية التحكم في نفاذية الضوء خلال المواد. بينما تكون الاستجابة في الأنظمة المتحركة دقيقة للمتغيرات البيئية وبصيغة فعل دقيق

ومحدد مثل غلق الأشرطة من البولمير المقوى خلال هبوب الرياح القوية في آلية الدوران (الالتفاف) المعتمدة في حركتها على النظم الكهربائية والتي تحقق أكبر كفاءة بيئية بين الأمثلة المدروسة في المقارنة كونها تحقق أكبر قدر من الوظائف البيئية للمبنى حيث حققت 80% من المعايير المستخدمة في المقارنة.

- **من ناحية الاقتصاد بالطاقة:** بالرغم من أن كلا النظامين يهدفان إلى تحقيق أدائية المبنى البيئية المقتصد بالطاقة، إلا أن الأنظمة المحركة بالاعتماد على النظم الكهربائية تتطلب حماية من الظروف البيئية إضافة إلى احتياجها إلى طاقة كبيرة للتشغيل. بينما تحتاج الأنظمة المحركة بالاعتماد على النظم المنفوخة إلى طاقة تشغيل أقل، وأما الأنظمة الساكنة فهي تعتمد على خصائص المواد وهي تستجيب ذاتياً ولا تحتاج إلى صرف طاقة تشغيلية للتحريك كما في آلية التحكم في نفاذية الضوء خلال المواد والتي تحقق أكبر كفاءة اقتصاد بالطاقة بين الأمثلة المدروسة في المقارنة كونها توفر أكبر قدر من وظائف الاقتصاد بالطاقة للمبنى حيث حققت 80% من المعايير المستخدمة في المقارنة.
- **من الناحية الجمالية:** لا يكون التغير في مظهر المبنى واضحاً في الأنظمة الساكنة مقارنة بالأنظمة المتحركة، فالمواد القادرة على تغير خصائصها لا تؤثر بوضوح على مظهر الغلاف التكيفي بسبب المكونات الخفية أو غير المرئية إذ يكون التغير في اللون أو الشفافية وليس في مكونات الغلاف، أما في الأغلفة التكيفية المتحركة فيحدث التغير في المظهر من خلال تحرك الأجزاء المكونة للغلاف والذي يبدو واضحاً للعيان وأكثر تأثيراً كما في آلية الغلق والفتح المعتمدة في حركتها على النظم الكهربائية والتي تحقق أكبر كفاءة جمالية بين الأمثلة المدروسة في المقارنة كونها توفر أكبر قدر من الوظائف الجمالية للمبنى حيث حققت 80% من المعايير المستخدمة في المقارنة.

التوصيات:

يتطلب اتخاذ القرار التصميمي فيما يخص تصميم الأغلفة التكيفية الأخذ بعين الاعتبار المؤشرات التالية:

- أهمية استخدام المواد الذكية المناسبة والمرتبطة بخصوصية المناخ الذي يشيد فيه المبنى.
- أهمية اختيار النظام والآلية التي تحقق أكبر قدر من كل من الوظائف البيئية، الاقتصاد بالطاقة والجمالية وفقاً للتصميم وخصوصية المناخ.
- أهمية تحقيق التوازن من الناحية الاقتصادية ما بين الاقتصاد في الطاقة وتكاليف الإنشاء والصيانة للنظام والآلية المستعملين وبما يتناسب مع الناحية الجمالية.

References:

[1]. AYRE, M. *Biomimicry–A review*. ESTEC European Space Agency, 2004.

[2]. LASHIN, H. *Biomimetc architecture*. Faculty of Engineering department of Architecture, Alexandria, 2009.

[3]. ZVIRONAITE, K.;KNOL, A.;KNEEPENS, S. *Kinetica: A playful way through the world of moving facades*. Student working paper voor het vak AR Innovation Sustainability, 2014.

[4]. FIRM, N.Y.A.-M.T. *HOMEOSTATIC BUILDING FAÇADE*. University of Colorado in Boulder Colorado., 2013.

[5]. EL-ESAWI, M.A. *An Approach for The Design of Building Envelope and its Effect on Heat Transfer / Human Comfort in Building* Master, Faculty of Engineering, architecture department, Cairo University, Cairo, Egypt,2003.

[6]. AL-THOBAITI, M. *INTELLIGENT AND ADAPTIVE FAÇADE SYSTEM: THE IMPACT OF INTELLIGENT AND ADAPTIVE FAÇADE ON THE PERFORMANCE AND*

ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS. Master of Science, Architecture, University of Miami, Florida, USA,2014.
[7]. RUBNICU, A. *Intelligent Systems in Architecture Façade Systems*. The Bulletin of the Polytechnic Institute of Jassy, Construction. Architecture Section, 2012, 166-167.
[8]. KAMOONA, G.;RAFO, L.A. *An integrative of building's work as an employed systematic of the high technology in face the external climatic conditions*. University of Baghdad, Faculty of Engineering, Vol(17) No(2), 2011, 37-57.
[9]. BAUER, M.;MöSLE, P.;SCHWARZ, M. *Green building: guidebook for sustainable architecture*. Springer Science & Business Media, 2009.
[10]. NELSON, D.R.;ADGER, W.N.;BROWN, K. *Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework*. Annual review of Environment Resources, Vol(32), 2007.
[11]. https://www.wikipedia.org/. visited on: 8 Mar. 2020.
[12]. ERICKSON, J. *Envelope as Climate Negotiator: Evaluating adaptive building envelope's capacity to moderate indoor climate and energy* Doctor of Philosophy Arizona State University,2013.
[13]. SCHNäDELBACH, H. *Adaptive architecture–a conceptual framework*. MediaCity: Interaction of Architecture, Media Social Phenomena, Weimar, Germany, 2010, 523-555.
[14]. KNAUP, C. *Transforming Sustainable Designs into Resilient Designs*. Mason and Hanger, 2015.
[15]. PALMER, F. *Using emergent technologies to develop sustainable architectural composites*. Master of Philosophy, Design and Creative Technologies, Auckland University of Technology, New Zealand,2009.
[16]. WANG, J. *Bio-inspired Kinetic Envelopes: Integrating BIM into Biomimicry for Sustainable Design*. Texas, USA, Vol(5), 2011.
[17]. https://cesaregriffa.com/. visited on: 6 Apr. 2020.
[18]. LOONEN, R.R. *Climate adaptive building shells: What can we simulate?* MSc Thesis, Architecture, Building Planning Department, Eindhoven University of Technology, Netherlands.,2010.
[19]. https://pl.pinterest.com/. visited on: 6 Apr. 2020.
[20]. http://spacecollective.org/. visited on: 18 Oct. 2019.
[21]. https://www.archdaily.com/. visited on: 8 Mar. 2020.
[22]. LOONEN, R.C.G.M.;RICO-MARTINEZ, J.M.;FAVOINO, F.;MARCIN, B.;MENEZO, C.;FERLA, G.L.;AELENEI, L. *Design for façade adaptability–Towards a unified and systematic characterization*. Proc. 10th Energy Forum-Advanced Building Skins, Bern, Switzerland, 2015, 1274-84.
[23]. WIGGINTON, M.;HARRIS, J. *Intelligent skins*. Routledge, 2013.
[24]. GOOSKENS, G.;GONDRIE, N. *Adaptable daylight systems*. Architecture and The Built Environment, Delft University of Technology, Netherlands, 2014.
[25]. PARK, J.W. *Interactive kinetic media facades: a pedagogical design system to support an integrated virtual-physical prototyping environment in the design process of media facades*. Journal of Asian Architecture Building Engineering, Japan, Vol(12) No(2), 2013, 237-244.
[26]. BRUGNARO, G.;CAINI, M.;PAPARELLA, R. *Energy saving through Building Envelope Innovation: Smart Skin Design*. Recent Advances in Urban Planning. Sustainable Development Green Energy, University of Padua, ITALY 2014, 35-44.

[27]. RITTER, A. *Smart materials in architecture, interior architecture and design*. Walter de Gruyter, 2006.
[28]. OGWEZI, B.;BONSER, R.;COOK, G.;SAKULA, J.;HAPPOLD, B. *Multifunctional, Adaptable Facades*. TSBE EngD Conference, TSBE Centre, University of Reading, Whiteknights, RG6 6AF, 5th July, 2011.
[29]. KOLAREVIC, B.;PARLAC, V. *Building dynamics: exploring architecture of change*. Routledge, 2015.
[30]. GROZDANIC, L. *8 Impossibly Dynamic Façades That Were Actually Built*. Architizer.
[31]. https://architizer.com/. visited on: 18 Oct. 2019.
[32]. SHARAIDIN, K.;SALIM, F. *Design considerations for adopting kinetic facades in building practice*. 2012.
[33]. LOG, D.P. *nature museum research centre*. blogger, 2012.
[34]. DRAKE, S. *Workplace Environment: People, the built environment, technology, and processes*. faculty of Engineering Building Planning, 2007, 8-29.
[35]. MARTJANOVA, I.;MONASADAT, M.;KAKOLYRI, T. *Smart Efficient Lightweight Facade*. master Architectural Engineering and Technology, Delft University of Technology,2014.
[36]. DECKER, M.;ZARZYCKI, A. *Designing Resilient Buildings with Emergent Materials*. 2014.