# تحسين أداء الإضاءة الطبيعية فى المبانى الإدارية باستخدام نظم التظليل البارامترية المستجيبة


**م / شيماء حسن سلام**
طالبة باحثة فى كلية هندسة
جامعة عين شمس
Arch.sh23@gmail.com
01004940498

**أ.د/ مراد عبد القادر**
أستاذ العمارة و التحكم البيئى
جامعة عين شمس

أ.د / حنان مصطفى كمال صبري
أستاذة العمارة و التحكم البيئى
جامعة عين شمس
drhanansabry@gmail.com

**أ.م.د / حازم طلعت الدالى**
أستاذ مساعد في كلية الهندسة
جامعة عين شمس
Hazemeldaly@yahoo.com



## ملخص البحث

وجود الإضاءة الطبيعية داخل المبنى هي من أهم الاستراتيجيات الرئيسية لتوفير الطاقة وتلبية متطلبات راحة المستخدمين. تصميم الإضاءة الطبيعية لابد من أخذه بعين الاعتبار في المراحل الأولى من تصميم المباني حيث أنه من أهم القرارات في هذه مرحلة ، ويتطلب تصميم الإضاءة الطبيعية الفعال تحديد عددة عوامل منها توجيه المبنى ومسار الشمس وتصميم الأغلفة والأسقف وأنظمة التظليل. غلاف المبنى هو الوسيط بين الداخل و الخارج وبالتالى فهو يؤثر بشكل كبير على المناخ الداخلى والراحة البصرية وتوفير الطاقة. معظم القيود المؤثرة على غلاف المبنى تتغير على مر الزمن (حاله الجو- مسار الشمس- تغير المناخ- تفضيلات المستخدم- الضوضاء- الرياح).

الأغلفة التقليدية للمبانى تعرض حلا واحدا ثابتا يتناسب مع كل الظروف الممكنة و لايمكنه أن يتكيف مع الظروف المتغيرة و مع ذلك فإن الابتكارات التكنولوجية تنفتح نحو تطوير جيل من أغلفة المبانى القابلة للتكيف (تستجيب للمناخ) و التى لديها القدرة على الحفاظ على التكوينات الأحسن أداء بناءً على الظروف المتغيرة. بدأ المهندسون و المعماريون فى تجارب حلول للأغلفة القابلة للتكيف للسيطرة على الإشعاع الشمسى والإضاءة الطبيعية. تزايد الاهتمام بنظم التكيف التى تعيد تكوين نفسها لتلبية الظروف المناخية المتغيرة واحتياجات المستخدم مما أدى إلى تصور أغلفة متعددة الوظائف (مستجيبة و ديناميكية) ، من أجل زيادة أستجابة أنظمة التظليل و للحد من الأنظمة التى تعمل ميكانيكيا. الهدف من هذا البحث هو تحسين أداء الإضاءة الطبيعية مع مراعاة كفاءة أستخدام الطاقة من خلال فحص وتقييم أنظمة التظليل الخارجية المستجيبة في المبانى الإدارية التى تقع في المناخ الأقليمى المصنف لمدينة القاهرة،مصر(المناخ الحارالجاف الصحراوى).



## الكلمات المفتاحية

الإضاءة الطبيعية ، أنظمة التظليل المستجيبة ، التصميم البارامترى ، فن الأوريغامى


## المقدمة

التغير فى الهندسة المعمارية غالباً ما يرتبط بالتغير فى الافكار و المواد وغيرها من العناصر التى تتعلق بالحقبات الزمنية للتطبيقات المعمارية ، لكن دائما ما نجد أن التغير فى أنظمة التصميم المعمارية هى فكرة محدودة فى الممارسات المعمارية ، رغم أن التغير هو عامل مهم فى أنظمة التصميم المعمارية لأن السياق الثقافى و البيئى والتكنولوجى للهندسة المعمارية فى حالة تغير مستمر. من أجل البحث عن حلول جديدة للربط بين الظروف البيئية الخارجية والمتطلبات الداخلية للمباني ، بدأ التركيز على تصميم أغلفة مبانى تتحول تدريجياً من كونها أغلفة ثابتة إلى أغلفة متحركة ، لا تعمل على تحسين الأداء البيئي فحسب ، بل أيضًا التوفير فى الطاقة وفى بعض التطبيقات توليد الطاقة. أصبح لدى المصممين الآن الأدوات اللازمة لتجربة الأنظمة القابلة للتغير والتي تستخدم العوامل البيئية للتلائم مع احتياجات ومتطلبات مستخدمي المبانى ، حيث يمكن للتصميم البارامترى نشر معايير جديدة في تصميم أغلفة المبانى. [5]

تتميز الأغلفة المستجيبة بالقدرة على تغيير بعض وظائفها أو شكلها أو سلوكها بمرور الوقت بشكل متكرر كأستجابة لظروف البيئة المتغيرة المحيطة بالمبنى ولتحقيق متطلبات مستخدمى المبانى. تعتبر الأغلفة المستجيبة من الأستراتيجيات الواعدة في التقنيات الحديثة للأغلفة المعمارية وتتلقى اهتمامًا متزايدًا من قبل الباحثين والمصممين فى الهندسة المعمارية.

وقد تم بالفعل تطوير العديد من الأنواع المختلفة لمفاهيم الأغلفة المستجيبة ، كما يتم العمل بشكل مستمر للتطوير فى التقنيات والمفاهيم الجديدة في هذا المجال . ومع ذلك ، لا تعد تكنولوجيا الأغلفة المستجيبة مجالًا معرفاً ومصنفا بشكل جيد في البحث المعماري. فعلى سبيل المثال، إنه يعرف أحيانا بالذكاء الاصطناعي أوالتصميم السلبي ، وأحيانا يتمثل فى المنشآت سريعة الاستجابة أو الأغلفة الأعلامية. [5]

## المشكلة البحثية

إن استخدام أغلفة البناء التقليدية لا يساعد في تحسين أداء الإضاءة الطبيعية والراحة البصرية، حيث أنها لا تتكيف مع تغير الأحوال الجوية، وتعطي حلا واحدا ثابتا للتعامل مع حالة واحدة للمناخ. ،لذلك هناك حاجة إلى تحديث المناهج التقليدية لأغلفة المبانى التى تعمل فقط كحاجز سلبي نحو أغلفة مبانى تعمل بمثابة فاصل مستجيب و متكيف مع البيئة المحيطة.

## الفرضية

من خلال تقييم الآثار المختلفة لأنظمة التظليل المستجيبة وإيجابيات / سلبيات ذلك، يمكن اقتراح استراتيجيات تظليل مستجيبة مع كل واجهات المبنى باستخدام طريقة تصميم بارامترى.

## هدف البحث

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تحديد نظام التظليل المستجيب الأفضل للمباني الإدارية لتحسين أداء الإضاءة الطبيعية باستخدام طريقة تصميم بارامترى.

## الأهداف الثانوية

- التعرف على نظم التظليل الشمسية الخارجية و النظم المستجيبة من حيث أنواعها ، مبادئها وتقنياتها.
- التعرف على أنواع أنظمة التظليل المسجيبة البارامترية
- تحديد معايير ومقاييس لتقييم أداء الوجهات المستجيبة من حيث تحسين الإضاءة الطبيعية للمبانى الإدارية.

## المنهجية

للوصول إلى أهداف البحث ، تم العمل فى البحث بالمرور بمرحلة متتالية من الدراسة :

- **دراسة نظرية :**

دراسة نظرية عن تأثير أنظمة التظليل الشمسية المستجيبة على أداء الأضاءة الطبيعية فى المبانى الإدارية والتعرف على الأنواع المختلفة لأنظمة التظليل الخارجية المستجيبة مع تحديد النظام الأفضل لوجهات المبانى الإدارية (الجزء الأول).

- **دراسة تحليلية :**

دراسة تحليلية لثلاث مبانى أدارية تم أستخدام أنظمة التظليل المستجيبة البارامترية بتطبيقاتها المختلفة وتحديد تأثير كل تطبيق على أداء الإضاءة الطبيعية داخل المبنى، وذلك بعد التعرف على أنظمة التظليل المستجيبة ومبادئها وتطبيقاتها (الجزء الثانى).

## 1 أغلفة المبانى المتحركة (المستجيبة)

يلعب تصميم وتوجيه أغلفة المبانى دوراً حاسماً في جودة البيئة الداخلية للفراغات المعمارية فى المبانى الإدارية. ويقترح (Winther) أنه "من أجل إنشاء أغلفة مبانى تتفاعل مع البيئة الخارجية ، يجب أستخدام المناخ المحلي للمبنى" (Winther ، 2012). غالبا ما تكون معظم عناصر أغلفة المبانى ثابتة (الجدران ، الأسقف ، النوافذ ، المواد) حيث تتحكم خصائص الجدران و الأسقف فى المقاومة الحرارية للفراغات الداخلية، بينما تتحكم خصائص النوافذ و الأسطح الشفافة فى توفير

الإضاءة الطبيعية من جانبى الأنتقال الشمسي والبصري. ذلك بالأضافة إلى نظام التظليل الذى يمثل أحد عناصر أغلفة المبنى المتحركة ، وبذلك يستطيع أن يتحكم فى الإضاءة الطبيعية والأنتقال البصرى و الشمسى بشكل أيجابى وأكثر مرونة وفعالية أكثر من العناصر الأخرى لغلاف المبنى ، ويتم التحكم في أنظمة التظليل بعدة طرق أما بواسطة المستخدم ، أو عن طريق استخدام تكنولوجيا الأستجابة الأكثر مرونة. (Colombari et al, 2002).[14]

أغلفة المبانى المتحركة عبارة عن مصطلح يستخدم في علوم وهندسة البناء ويشير إلى أغلفة المبانى التي ترتبط ببيئتها المتغيرة بطريقة ديناميكية . هناك العديد من المصطلحات المتغيرة التى تستخدم فى مجال الأغلفة المتحركة مثل " الأغلفة الديناميكية" ، " الأغلفة المتكيفة" ، " الأغلفة الذكية" ، " الأغلفة النشطة" ، " الأغلفة المستجيبة" . على الرغم من اختلاف المعنى الدقيق لكل مصطلح ، فغالبًا ما يتم استخدامها بالتبادل. [14]

## 1.1 المصطلحات الشائعة للأغلفة المتحركة

المصطلحات المتعلقة بأنظمة التظليل المتحركة واسعة للغاية. هناك ميل واضح لمجموعات البحث لتحديد المفردات الخاصة بكل مجموعة لوصف نوع معين أو نهج معين للأنظمة المتحركة المستخدمة فى مجال البحث. من المصطلحات الأكثر شيوعًا فى الاستخدام هى : (أنظمة متحركة ، أنظمة قابلة للسحب ، أنظمة قابلة للتحويل ، أنظمة متكيفة ، أنظمة ديناميكية ، وأنظمة مستجيبة) . تستخدم هذه المصطلحات المختلفة بغرض وصف تفاعل أنظمة التظليل الوظيفي ببيئتها أو لوصف الطبيعة غير الثابتة لأنظمة التظليل. ومن أجل توضيح استخدام هذه المصطلحات يقترح المؤلفون والباحثون بعض التعريفات العامة الأتية: [4]

- **أنظمة متحركة :** هي أنظمة تخضع لدراسة قوانين الحركة مع الأخذ بعين الأعتبار القوى والكتل المشاركة فى الحركة وتؤكد على العلاقة بين الحركة وأسبابها (Lienhard, 2014) .
- **أنظمة قابلة للسحب :** هى أنظمة تستخدم بشكل شائع في الهندسة المعمارية للأسقف ذات الأغطية النسيجية التي يتم فيها سحب أو طي الغطاء النسيجى (Barozzi et al., 2016).
- **أنظمة قابلة للتحويل :** هى أحد الطرق المتقلبة في المباني للتغير من شكل إلى أخر حسب الوظائف المختلفة. من الممكن تحديد نوعين من الأنظمة قابلة التحويل: قابلية التحويل الخارجي ، تغير أو تقلب الغلاف الخارجي للمبنى ، وقابلية التحويل الداخلي ، المتعلقة بالمساحات الداخلية.
- **أنظمة متكيفة :** هى أنظمة لديها القدرة على التكيف والتعديل مع الظروف المتغيرة من تلقاء نفسه. تكون الأغلفة المتكيفة لديها القدرة على تغيير سلوكها أو خصائصها أو تكويناتها فيما يتعلق بالتغيرات الخارجية (Dewidar et al., 2013).
- **أنظمة ديناميكية :** هي أنظمة تخضع لدراسة القوى المؤثرة على الجسم والتي تؤدي إلى الحركة . ويستخدم المصطلح غالبًا لتحديد أنظمة المباني أو الأغلفة التي يمكن نقلها (Meriam and Kraige, 2012).
- **الأنظمة الذكية:** تستخدم الأنظمة الذكية تكنولوجيا المعلومات للربط بين العديد من الأنظمة الفرعية التي تعمل بشكل مستقل (Brooks, 2011).
- **أنظمة مستجيبة:** يشير المصطلح إلى أنظمة رد الفعل ، أي نظام يتحرك ويكون غير قابل للتلاعب أو التشغيل الداخلى ، مما يعني أن النظام يتحرك ويسيطر عليه من الخارج وذلك من خلال البيئة المتفاعلة مع النظام (Hasselaar, 2006). يعرّف (Nicholas Negroponte) الأستجابة كالأتى "الاستجابة تعني أن البيئة يكون لها دور نشط ، وتبدأ بتغييرات أكبر أو أقل نتيجة لعمل حسابات معقدة أو بسيطة". وسوف نختص فى هذه الدراسة بالأنظمة المستجيبة والتى من خلالها يمكن ربط غلاف المبنى بالبيئة الخارجية للعمل على تحسين الراحة البصرية لدى مستخدمى المبانى الإدارية.

## 2.1 مفهوم أنظمة التظليل المستجيبة

أنظمة التظليل المستجيبة هى أنظمة تقوم بتحليل وتفسير التغييرات التى تحدث في البيئة المحيطة ، ثم الاستجابة لهذه التغيرات ، وتتيح الابتكارات الحديثة في الهندسة المعمارية البارامترية أنظمة تظليل يتم التحكم فيها بدقة بحيث تتفاعل مع

مختلف احتياجات المباني والمستخدمين. و أصبح ذلك ممكنا من خلال البحث الشامل خلال مرحلة التصميم ، حيث يتم محاكاة جميع السيناريوهات التي يجب أن يعمل النظام من خلالها بشكل جيد وصولا بالسيناريو الأكثر كفاءة و الأفضل أداء. وتشمل هذه السيناريوهات الظروف المناخية المختلفة والمتطلبات الخاصة بمستخدمي المبنى ؛ لذلك يجب أن توفر أنظمة التظليل المستجيبة الراحة الملائمَة فى كل الأوقات والحالات لمستخدمى المبنى.[19]

أنظمة التظليل المستجيبة يكون لديها القدرة على التفاعل مع محيطها وتكون قادرة على سلوك التكيف. في هذه الحالة ، لا يتحكم المستخدم في التكنولوجيا بشكل مباشر ، ولكنه يمثل تغييراً بحد ذاته في البيئة المحيطة بالنظام ، بينما تمثل أنظمة التظليل المستجيبة مدى قدرة النظام فى تحسين الأداء ، وليس كنتيجة لتفاعلات المستخدم. وهذه ظاهرة مستجدة ناشئة عن التحول فى النظام من خلال عدد كبير من المتغيرات . من خلال هذا التحول في الأنظمة ، أصبح الشكل ذات طابع سلوكى والحركة أستحوذت على الصورة فى الهندسة المعمارية. وعلى الرغم من أن مصطلح الأنظمة المستجيبة يمكن أن يكون مرادفًا للأنظمة الذكية أوالتفاعلية ، إلا أن الأنظمة المستجيبة عادةً ما تحدد أنظمة الأغلفة التي بالإضافة إلى أنظمة الاستشعار والمحركات وأليات التشغيل تحتوي على أنظمة استجابة أكثر تعقيدًا "تتعلم" و "تعاد ضبطها" بمرور الوقت ،. "وبالتالي ، لا تشتمل الأنظمة المستجيبة على أنظمة الاستشعار والمحركات فحسب ، بل تلتزم أيضًا بتعليم كل من المبنى ومستخدمى المبنى عن طريق أنظمة رد الفعل (Feedback Systems). " (Velikov & Thun, 2012, p. 89). [17] [19]

تم صياغة مصطلح "العمارة المستجيبة " من قبل (Nicholas Negropont) ، لأول مرة في أواخر القرن التاسع عشر ، عندما تم استكشاف مشاكل التصميم المكاني من خلال تطبيق علم التحكم الآلي على الهندسة المعمارية. واقترح أن العمارة المستجيبة هي المنتج الطبيعي لتكامل القدرة الحاسوبية في بناء الهياكل والفراغات ، ذلك للحصول على مبانى أفضل فى الأداء. يقيس النظام المستجيب الظروف البيئية الفعلية (عبر أجهزة الاستشعار) ،ثم تتمكن عناصر المباني المستجيبة من التكييف من خلال شكلها أو لونها أو سلوكها بشكل متجاوب (عبر المحركات). هدفها هو تحسين وتوسيع نظام الهندسة المعمارية من خلال تحسين أداء الطاقة في المباني بتقنيات سريعة الاستجابة ، ويتم تعريف المبانى المستجيبة من قبل (Meyboom et al , 2010) كنظام معماري "يتسبب في التغيير لبيئته".[17]

تقوم فكرة الأغلفة المستجيبة على تكوين وحدات صغيرة متعددة على شكل أنماط تعمل كأنظمة تظليل معلقة على الواجهة وتمكن من حجب أشعة الشمس إلى الأماكن الداخلية أو توفير الإضاءة الطبيعية و غيرها من الوظائف التى تساعد على راحة مستخدمى المبنى ، وتقدم عددًا لا حصر له من الاحتمالات والحلول التي تخلق الحالة المثالية للإضاءة الطبيعية الفعال فى الأجزاء مختلفة من المبنى وفقا لاحتياجات كل فراغ. يتم ترتيب الوحدات بطريقة تسمح بتحويلها عن طريق الدوران أو الطى أو الغلق والفتح حسب المحركات المستخدمة وأجهزة الاستشعار، ساهم إدخال أدوات التصميم البارامترية بالإضافة إلى أنظمة الأستشعار وأنظمة التحكم في تقديم القدرة على تنفيذ نظام مستقل حيث تعمل كل وحدة من الغلاف بشكل فردي ، وذلك عن طريق الأستجابة وفقًا للبيانات التي تتلقاها من أنظمة الأستشعار الخاص بها .[17].

## 3.1 مناهج تصنيف أنظمة التظليل المستجيبة

بدأ تصميم وتطوير مناهج لتصنيف الأنظمة المستجيبة وقد بذلت جهود عديدة من أجل ذلك. وبما أن المصطلحات لا تزال غير موحدة ، فقد قامت العديد من مناهج التصنيف من قبل مشاريع مختلفة لمنظمات و مؤسسات خاصة بهذا المجال ، بعضها يركز على معايير تصميم محددة ، بينما يحاول البعض الآخر اتباع منهج شامل لمفاهيم التصميم. [5]

"Adaptive facade network – Europe" ، هى من أهم المشاريع التى كانت مدعمة من قبل Cooperation in (Science and Technology- European) COST ، وهى تعمل على توفير توصيف منهجي للأغلفة المستجيبة والمتكيفة للاتجاهات المستقبلية بحيث تقوم بتصميم وتطوير أغلفة مستجيبة ذات تقنيات تكيفية جديدة ( Luible et al., 2015) . على الرغم من أن هذا المشروع البحثي مستمر فى التطوير ، إلا أنه قد تم نشر العديد من الأبحاث المتعلقة بتصنيف المفاهيم المستجيبة و المتكيفة التي تعكس عمل (COST) . على سبيل المثال ، فى ورقة بحثية قام بها ( Loonen et al. 2015) وهي واحدة من الدراسات الأكثر شمولية في هذا المجال والتي تهدف إلى تقديم نظرة عامة على مفاهيم واستراتيجيات التصنيف للأغلفة المستجيبة ، قامو بتعريف مفاهيم التوصيف التصورى من خلال عدة معايير هى : (الهدف أو الغرض ، الوظيفة المستجيبة ، عملية التشغيل، تكنولوجيات المواد والأنظمة ، وقت الاستجابة ، النطاق المكاني ، الرؤية ، ودرجة التكيف). وفى دراسة أخرى أجراها (Struck et al. , 2015) قام بأستعراض متطلبات الأداء ، ومكونات الأغلفة ومفاهيم الأغلفة المبتكرة في مجال الأغلفة المستجيبة.[5]

الملحق 44 "Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings" لمنظمة "IEA-International Energy Agency" ، يهدف إلى تحديد أساليب التصميم والأدوات التي يمكن استخدامها لاختيار العناصر سريعة الاستجابة فى المبانى. ويقتصر المشروع على النظر في الاستجابة للظروف البيئية الخارجية. تصنف عناصر المبنى المستجيبة بناء على عملها المتجاوب مع عدة عوامل مثل شدة الحرارة ، والتخزين الحراري ، والنفاذية لكل من الإضاءة الطبيعية والإشعاع الشمسي . في هذا الملحق البحثى ، يركز الاهتمام على خمسة عناصر بناء مستجيبة هما : تنشيط الكتلة الحرارية Thermal mass activation ، الأغلفة المستجيبة المتقدمة advanced responsive envelopes ، المواد متغيرة الأوجه أو متغيرة الجوانب phase change materials ، العزل الديناميكي dynamic insulation، التبادل الحراري بين الأرض و الهواء Earth-to-Air Heat Exchanger ( Van Der Aa et al., 2011 ). مشروع (FACET 2009-2013) ، يتم تطبيق منهج تصميم عكسى ؛ وذلك عن طريق حساب و أحصاء مجموعة من العوامل المتغيرة المثالية و الواقعية لحالات مناخية مختلفة فى أوقات زمنية مختلفة (الفصول ، الساعات ليلا أو نهارا) ، و يركز المشروع على تطوير غلاف مبنى مستجيب بشكل كامل مع المناخ المحيط ، وذات سلوك متكيف لتقليل استخدام الطاقة للتدفئة والتبريد والتهوية وزيادة جودة البيئة الداخلية. [5]

كما أن هناك العديد من مناهج التصنيف التى تم مناقستها في العديد من الأبحاث والدراسات فى هذا المجال ، نشرت (Schnädelbach 2010) مفاهيم هيكلية حول العمارة المتكيفة. في هذه الدراسة ، يتم فحص العمارة المتكيفة تحت عناوين (الدوافع والمحركات ، استراتيجيات التصميم في العمارة المتكيفة ، والبناء المتكيف ومكوناته) ، التي تنقسم إلى بيانات منطقية لتغيرات (المحركات ، عناصر التكيف ، الطريقة والتأثير). ويقدم (Fox and Kemp 2009) نظرة عامة شاملة عن العمارة التفاعلية بما في ذلك توضيح مفهوم العمارة التفاعلية ، وكيف يمكن أن تؤثر على المبانى و المستخدمين ، وما هى أهمية تصميمها وأين تتجه فى المستقبل ؛ التغيير المادي والعمارة الحركية هي أيضا من المواضيع الذى تم مناقشتها فى هذا الكتاب. حيث ينصون على أن الحلول في العمارة الحركية يجب أن تنظر في طرق ووسائل التشغيل.[5]

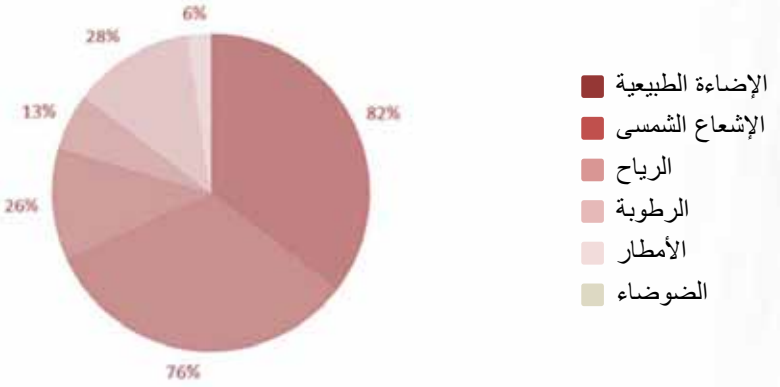
يشير كل من (Kolarevic & Parlac 2015) إلى أن الاختلاف في الأغلفة المتكيفة لا يرتبط فقط بنوع وسائل التشغيل ولكن كيفية التشغيل أيضا .ويعرّفو أربع أساليب لتشغيل الأغلفة المتكيفة هما : المحركات ، والأنظمة الهيدروليكية ، والأنظمة الهوائية ، والمواد المتغيرة. كما يكشف (Ramzy & Fayed , 2011) عن نظامين لتصنيف العمارة الحركية. في البداية ، تصنف الأنظمة الحركية في الهندسة المعمارية ، وفقا لتشكيل النظام ، وتقنيات التحكم. ثم يتم تصنيف الأنظمة الحركية كنظم مراقبة بيئية ، يتم تقديمها وفقا للعوامل الأتيه : (الحركة ، وتقنيات التحكم ، وتكوين النظام ، والحد من السيطرة والتكلفة). [5]

مساهمة أخرى لتصنيف مناهج الأنظمة الحركية التي قدمها (Fox & Yeh ,1999). يصنف أنظمة التحكم للأغلفة الحركية إلى ستة أنواع عامة هما : (التحكم الداخلى ، التحكم المباشر ، التحكم غير المباشر ، المستجيب الغير المباشر ، المستجيب الغير المباشر واسع الأنتشار، والمستجيب الأرشادى غير المباشر) . أنظمة التحكم هذه مقسمة إلى مجموعتين. تشكل أنظمة التحكم الداخلية والمباشرة وغير المباشرة المجموعة الأولى التي يتم تشغيلها عبر مفتاح اليد أو المحرك أو جهاز الاستشعار مباشرة. في أنظمة التحكم الأخرى ، التي تشكل المجموعة الثانية ، يتم توسط الحركة من خلال استخدام الكمبيوتر.[5]

فى دراسة حديثة قامت بها (Basarlr B. , 2017) قدمت منهج تصنيف للأغلفة المستجيبة ، يمثل هذا المنهج مفاهيم الأغلفة المستجيبة بطريقة شاملة ، حيث تم بناء هذا التصنيف على خمسة عشر متغيرا هما : (عناصر التكيف ، عوامل التكيف ، استجابة عامل التكيف ، نوع الحركة ، حجم التكيف ، حدود الحركة ، النظام الهيكلى للتكيف الديناميكي ، نوع المحرك ، نوع التحكم ، وقت استجابة النظام ، درجة النظام من القدرة على التكيف ، مستوى وضوح العمارة ، تأثير التكيف ، درجة تغير الأداء ، و مدى تعقيد النظام) . ويهدف منهج التصنيف فى هذه الدراسة إلى تصنيف الأنظمة وفقًا لحدوث التغيير. يمكن تمييز حدوث التغيير بثلاثة عناصر: عامل التغيير وآلية التغيير وتأثير التغيير ( Ross et al., 2008). عامل التغيير هو السبب في حدوث التغيير ، آلية التغيير هي المسار الذي يجب أن يتخذه النظام من أجل التغير ، وتأثير التغير هو الفرق بين النظام قبل وبعد حدوث التغيير.[5]

تم تصميم دراسة تحليلية لتقييم العوامل الخارجية المرتبطة بالحاجة إلى الواجهات المستجيبة فى دراسة قام بها (Aelenei D. , et al., 2016) ، في حالة هذه الدراسة كان التركيز في المقام الأول على تحليل الحاجة إلى القدرة على الأستجابة بسبب العوامل الخارجية. ولإنجاز هذه المهمة ، تم تحليل عينة ممثلة من 130 مبنى ، كانت العوامل الخارجية التي تم بحثها في التحليل هي الإضاءة الطبيعية ، الإشعاع الشمسي ، الرياح ، الرطوبة ، الأمطار ، والضوضاء، كشفت الدراسة أن الإضاءة الطبيعية هي أكثر العوامل الخارجية المرتبطة بالأغلفة المستجيبة حيث وصلت نسبة الإضاءة الطبيعية إلى 82 % ويليها الإشعاع الشمسي بنسبة تصل إلى 76 %. ولأن من المعروف أن هذه العوامل لها تأثير مباشر

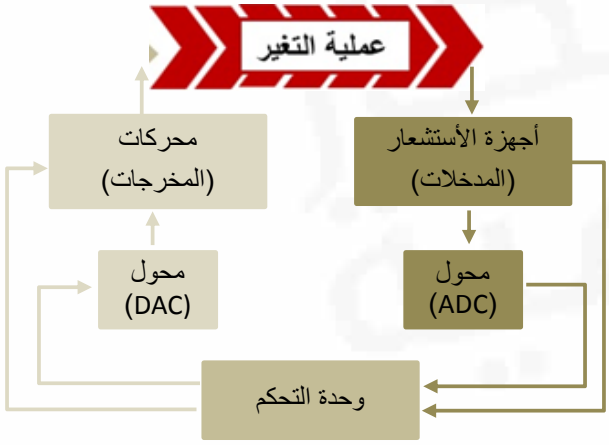
على الراحة الحرارية والبصرية وعلى أداء الطاقة في المباني ، فكان الإستنتاج من هذه الدراسة أن تصميم الأغلفة المستجيبة لها هدف أساسي هو تحسين راحة مستخدمى المبنى من ناحية الراحة البصرية ثم يليها الراحة الحرارية (شكل 1).[1]




شكل 1: العوامل الخارجية المرتبطة بالأغلفة المستجيبة [1]

## 4.1 عناصر تشغيل أنظمة التظليل المستجيبة

تتكون عملية تشغيل أنظمة التظليل المستجيبة من أربعة عناصر هما : (أنظمة التحكم Control systems ، أجهزة الأستشعار sensors ، وحدة التحكم control unit، والمحركات actuators) ، يتم قياس التغيرات البيئية عن طريق أستخدام أجهزة الأستشعار ،ثم يحدث التغير سواء فى التكوين أو الشكل أو اللون أو السلوك كأستجابة لتلك الظروف البيئية و تقوم بذلك بواسطة المحركات ، وذلك عن طريق أستخدام المحولات ووحدة التحكم ،و يتم أدارة هذه العملية بما يسمى نظام التحكم ، (شكل 2) يوضح عملية تشغل أنظمة التظليل المستجيبة .[10]

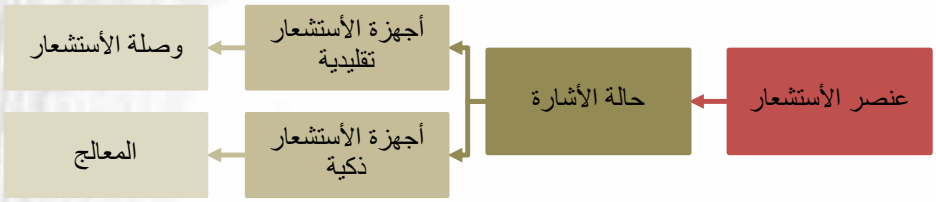



شكل 2: عملية تشغيل أنظمة التظليل المستجيبة [10]

### 1.4.1 أجهزة الأستشعار والكشف sensors & Detectors

أجهزة الاستشعار تمثل المدخلات في نظام تشغيل الأنظمة المستجيبة والتي تعطي معلومات وبيانات مختلفة عن البيئة المحيطة بها . هى أجهزة ذات تقنيات ذكية ، تقوم بالأحساس بالتغيرات البيئية مثل (الإشعاع الشمسي، التلوث، والضوضاء .... وغيرها) ثم تقوم بجمع البيانات ، وأعطاء النظام أشارة ليقوم بالتغيرات المطلوبة حسب البيانات المجمعة ، و تكون

أجهزة الأستشعار أما أجهزة تقليدية (traditional sensors) و تتكون من ثلاث أجزاء هما : (عنصر الأستشعار Sensing Element، وحالة الأشارة Signal Conditioning ، ووصلة الأستشعار Sensing Interface). أو تكون أجهزة الأستشعار أجهزة ذكية (smart Materials) وتختلف عن الأجهزة التقليدية بوجود (المعالج Microprocessor) و تكون هذه الأجهزة أكثر ذكاءاً حيث تقوم المعالجات بالعمليات الرقمية و الحسابية للتكيف ذاتيا أى أنها تقوم بعملية صنع القرار (شكل 3).[10]




شكل 3: أنواع أجهزة الأستشعار [10]

### 2.4.1 وحدة التحكم (Contro Unit)

يتم تمثيل وحدة التحكم فى العملية المسؤول عن أتخاذ قرار الحركة وبالتالي تتلقي معلومات من أنظمة المدخلات و تنقلها إلى المحركات التي تحرك الهيكل ، وهناك ثلاثة أنماط من أنظمة التحكم كما يلي : [10]

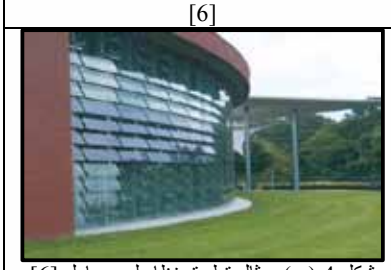
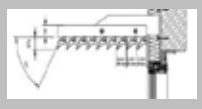
- **التحكم الداخلى (Internal control) :** حيث ينقسم نظام التحكم إلى عدد أنظمة تعطى الأولوية إلى النظام الذى يتخذ القرار دون وحدة تحكم خارجية
- **التحكم الخارجى (External control) :** حيث يكون للنظام القدرة على اتخاذ القرار إما من تلقاء نفسه أو من مصدر آخر خارجة ، مثل العناصر التي يمكن تحريكها بواسطة التحكم اليدوي .
- **التحكم المعقد (Complex system) :** هو نظام يدمج بين النظامين السابقين حيث يمكن اتخاذ قرار إما ذاتياً أو باستخدام المدخلات. ويتصنف إلى أربعة أنواع : (التحكم المباشر Direct Control ، التحكم الغير مباشر Indirect Control ، التحكم الغير مباشر مع مدخلات متعددة Indirect Control by Multi-Input ، التحكم الغير مباشر و الذكى Indirect Control, Intelligent).

### 3.4.1 المحركات actuators

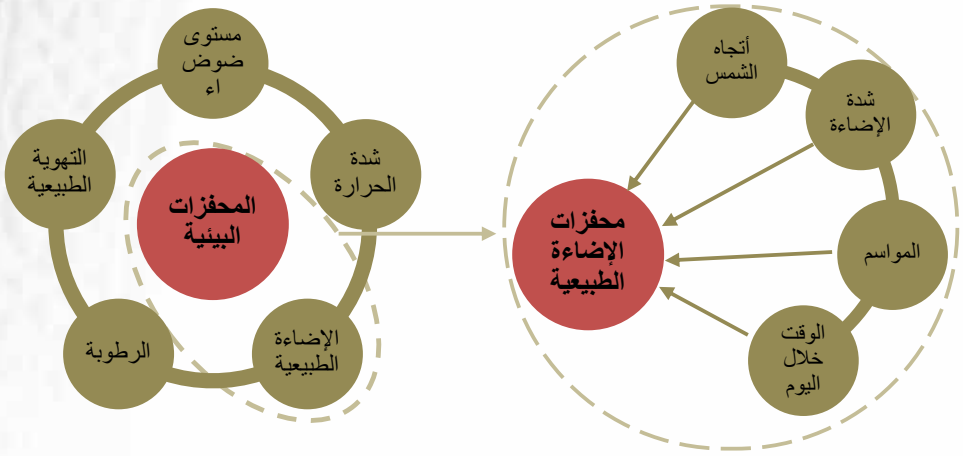
المحركات هى عبارة عن أجهزة تقوم بتحريك النظام عن طريق مصدر الطاقة ، وبمعنى أخر هى الأجهزة المسؤلة عن التغير فى العنصر المتحرك وفقاً للأوامر الصادرة من عمليات وحدة التحكم ، وغالبا يكون مصدر الطاقة أما كهربيائية أو المحركات التي تعتمد على الضغط مثل المكابس الهيدروليكية حيث تقوم بضغط السوائل التي تنتج عنها الحركة وهناك نوعين من المحركات هما : (المحركات التقليدية ،المواد الذكية) . [6]

فى المحركات التقليدية يختلف نظام نقل الحركة وفقًا لنوع النظام وحجم الألواح المستخدمة فى النظام (جدول 1) ، وغالبا ما يتم أستخدام هذه الأنواع من المحركات على أنظمة التظليل المستجيبة الدورانية ، يوضح (شكل 4) أ،ب،ج،د،ه أمثلة تطبيقية على أنظمة نقل الحركة الشائع أستخدامها.[6]

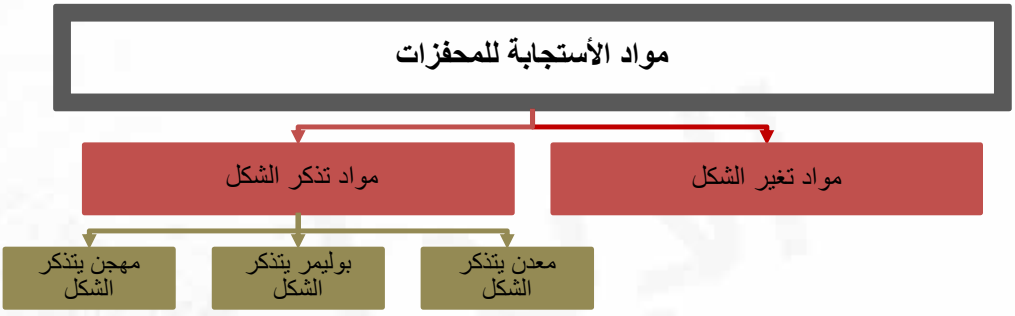
جدول 1: أنظمة نقل الحركة بالمحركات التقليدية

| نظام نقل الحركة | أستخدامات نظام نقل الحركة | مثال تطبيقى لنظام نقل الحركة |
|---|---|---|
| لوح حامل مستقيم | يعمل على مسافات واسعة ، تحمل شرائح تظليل أو كاسرات شمس تصل عرضها من 3 إلى 6 م ، تشتمل على أنبوب تداخل مركزي من الألومنيوم على طول الفتحة. | شكل 4(أ):مثال تطبيق نظام لوح حامل مستقيم [6] |
| لوح حامل | يعمل على مسافات أقل من النظام السابق أو حين تتوفر نقاط دعم متكررة على مسافات متقاربة ، تحمل شرائح تظليل أو كاسرات شمس تصل عرضها إلى 5 م. |  شكل 4 (ب): مثال تطبيق نظام لوح حامل [6] |
| أنبوبة ملتوية | يعمل على مسافات واسعة ، تحمل شرائح تظليل أو كاسرات شمس تصل عرضها إلى 6 م، مع أنبوب انضغاط مركزي من الألمنيوم على طول الفتحة. | شكل 4 (ج): مثال تطبيق نظام أنبوبة ملتوية [6] |
| حامل معلق | يعمل على مسافات واسعة ، تحمل شرائح تظليل أو كاسرات شمس تصل عرضها إلى 6 م، يوفر حل محوري معلق فى نهاية النظام ، مع آليات التحكم مدمجة داخل أنابيب الدعم الرأسية | شكل 4(د):مثال تطبيق نظام لوح حامل معلق [6] |
| مشبك معدني مدعم  | يعمل على مسافات واسعة ، تحمل شرائح تظليل أو كاسرات شمس تصل عرضها إلى 6 م، نظام محوري مركزي بالكامل يوفر الحد الأقصى من الرؤية. | شكل 4 (ه): مثال لتطبيق نظام مشبك معدنى مدعم [6] |

أما المواد الذكية فغالبا تستخدم مواد الأستجابة للمحفزات (Stimulus-Responsive Materials / SRMS) فى أنظمة التظليل الشمسية ، حيث تساعد على أرتباط غلاف المبنى بالتغيرات البيئية المحيطة به ومعاملة هذه التغيرات كمحفزات (شكل 5). وذلك من خلال تغيير خصائصها الفيزيائية أو الكيميائية. ويتم تقسيم مواد الأستجابة للمحفزات إلى نوعين رئيسيين هما : مواد تغير الشكل (Shape Change Materials/SCMs) وهى مواد قادرة على تغيير شكلها عندما يكون التحفيز الصحيح موجودً ، ومواد تذكر الشكل (Shape Memory Materials/SMMs) ويتم أستخدامها مع جميع المواد التي تكون قادرة على التغير والاحتفاظ بالشكل المتغير ، حيث يتم التغير الناتج من المحفزات ثم استعادة الشكل مرة أخرى عن غياب هذه المحفزات (شكل6 ). عادة ، يتم تنشيط تلك المواد عن طريق اختلاف في درجة الحرارة أو فى ترددات الصوت ، وهناك ثلاثة أنواع لمواد تذكر الشكل هما : (مهجن يتذكر الشكل Shape Memory Hybrids /SMHs ، معدن يتذكر الشكل Shape Memory Alloys /SMAs ، بوليمر يتذكر الشكل SMPs). فى إحدى الدراسات التى قام بها (Fiorito E. , 2016) تمت مقارنة خصائص الأنواع الثلاثة من مواد تذكر الشكل التي يتم استخدامها فى أنظمة التظليل المستجيبة. أظهرت المقارنة أن مادة بوليمر تذكر الشكل هو المادة الأكثر فاعلية ، نظرًا لحقيقة أن نسبة تغير شكلها أعلى من مادة معدن تذكر الشكل بنسبة 10٪ ، وكذلك أعلى من مادة مهجن تذكر الشكل بنسبة 6-8٪ ، ومع ذلك ، في الوقت الحالي ، تعتبر مادة معدن تذكر الشكل هى أكثر الأنواع أستخدام لأنها قادرة على تجاوز 200000 دورة ، بينما تم اختبار مادة بوليمر تذكر الشكل ووصلت حتى 200 دورة فقط ولم تخضع من مهجن تذكر الشكل لأي اختبارات. [11]



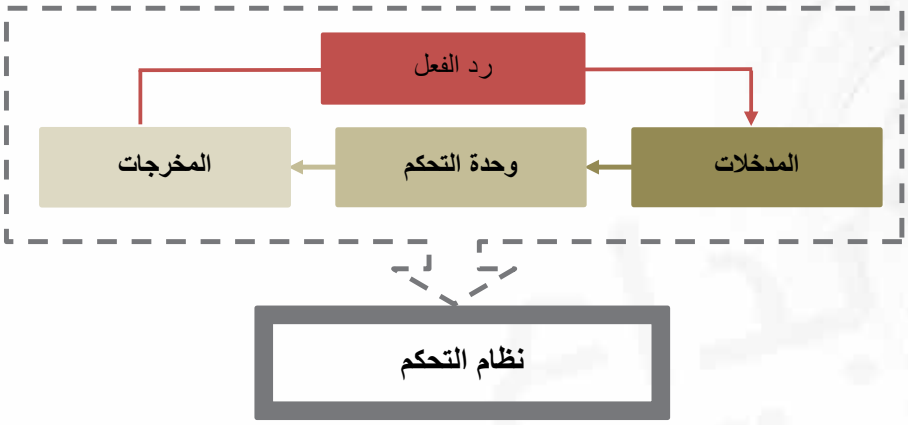

شكل 5 : النظام التحفوزى للعناصر البيئية




شكل 6: أنواع المحركات بالمواد الذكية

### 4.4.1 نظام التحكم Control system

نظام التحكم هو جهاز أو مجموعة أجهزة تدير، أوتوجه أو تنظم سلوك نظام أو عدة أنظمة. و يتكون نظام التحكم من ثلاث عناصر هما : المدخلات (Input) والتى تمثل المعلومات و البيانات القادمة من أجهزة الأستشعار ، وحدة التحكم (Controller) ، المخرجات (Output) التى تتمثل المحركات التى تقوم بعملية التغير الناتجة عن الأستجابة ، وعلى الرغم من أن مصطلح الأنظمة المستجيبة يمكن أن يكون مرادفًا للأنظمة الذكية أوالتفاعلية ، إلا أن الأنظمة المستجيبة عادةً ما تحدد أنظمة الأغلفة التي بالإضافة إلى أنظمة الاستشعار والمحركات وأليات التشغيل تحتوي على أنظمة استجابة أكثر تعقيدًا "تتعلم" و "تعاد ضبطها" بمرور الوقت ، "وبالتالي ، لا تشتمل الأنظمة المستجيبة على أنظمة الاستشعار والمحركات فحسب ، بل تلتزم أيضًا بتعليم كل من المبنى ومستخدمى المبنى عن طريق أنظمة رد الفعل ( Feedback Systems). (شكل 7).[11]




شكل 7: مكونات نظام التحكم

## 2 معايير تقييم أنظمة التظليل المستجيبة

وفقًا للخطة العلمية التى قامت بها COST (Cooperation in Science and Technology- European) ، من أجل تقييم واختبار أداء أنظمة التظليل المستجيبة ، وجدت أنه يجب وصف النظام من حيث عدة معايير ، من أهم هذه المعايير : عنصر الأستجابة ، عوامل الأستجابة ، هدف الأستجابة ، تأثير الأستجابة ، وقت الأستجابة ، ونوع الحركة ، وفيما يلى تعريفات معايير أنظمة التظليل المستجيبة .[1]

- **عنصر الأستجابة:** يوجد فى المبانى عدد من العناصر التي يمكن تكييفها ، ويتم أختيار العنصر بناءا على عامل الأستجابة ، يتم تقسيم عناصر الأستجابة تحت أربعة عناوين رئيسية هما : (أنظمة التظليل ، الأسقف ، الجدران ، المواد). لا يتم تقسيمها إلى فئات فرعية ، ونختص فى هذه الدراسة بعنصر أنظمة التظليل.
- **عوامل الأستجابة:** هو السبب في حدوث التغيير فى عنصر الأستجابة فيمكن للنظام أن يستجيب إلى البيئة أو المستخدم أو الأشياء.فى أنظمة التظليل المستجيبة يكون عامل الأستجابة هو البيئة ويوجد نوعين رئيسين من عوامل الأستجابة لأنظمة التظليل الشمسية، أولا عوامل الأستجابة للبيئة الداخلية وتتمثل فى درجة الحرارة ، الإضاءة الطبيعية ، الرطوبة ، والتهوية الداخلية ، وثانيا عوامل الأستجابة للبيئة الخارجية وتتمثل فى الإشعاع الشمسى الإضاءة الطبيعية ، الرطوبة ، والرياح (Schnädelbach, 2010).
- **هدف الأستجابة:** وتتمثل فى الغرض القائم على أساسه النظام ، ويمكن تقسيم أهداف الأستجابة إلى أربعة أهداف هما الراحة الحرارية ، الراحة البصرية ، الراحة السمعية ، وتوفير الطاقة.
- **تأثير الأستجابة:** هو شكل التغيرات التي تحدث في النظام نتيجة الأستجابة ، وتكون هذه التغيرات أما فى اللون أو الشكل أو فى الحركة أو فى المادة ، وفى أنظمة التظليل المستجيبة يكون تأثير التغير غالبا فى الشكل والحركة (Loonen et al., 2015).
- **وقت الأستجابة:** تستخدم الأنظمة المستجيبة الوقت لتحويل نفسها أو للتغيير فى خصائصها (Fernandez, 2014). يشير وقت الاستجابة إلى المقياس الزمني الذي تحدث فيه الواعملية التغير بفعالية. هذا النطاق الزمني يختلف من

فترات قصيرة جدا (ثانية) إلى فترات طويلة جدا (عدة سنوات) ، فى أنظمة التظليل يحدد وقت الأستجابة أما بالساعة أو باليوم أو بالموسم.

- **نوع الحركة:** يحدد نمط الحركة وفقاً للإزاحة الموضعية ، تحدث الحركة بشكل أساسي بثلاث طرق هما التغير الجزئي أو التغيير الكامل أو الجمع بينهما، ومن أمثلة الحركة التى تم تطبيقها فى أنظمة التظليل الشمسية الدوران ، الطى ، الغلق والفتح (شكل 2-7) (Herzog et al., 2004).

## 1.2 أستراتيجيات أنظمة التظليل المستجيبة

تكون معايير نظام التظليل هى النقاط الأساسية التي يركز عليه أختيار نظام التظليل ، ويمثل معيار نوع الحركة الأسترتيجيات التطبيقية فى أنظمة التظليل المستجيبة القائمة فى العديد من المبانى الإدارية ، والتى من خلالها يمكن التوصل إلى التقنيات التى سوف تبنى عليها عملية تصميم نظام التظليل. من أجل جعل المصطلح "مستجيب" أكثر قابلية للفهم ، من الضروري إلقاء نظرة على الأستراتيجيات الشائعة لتطبيقات أنظمة التظليل المستجيبة الحالية ، فى هذه الدراسة سوف يتم توضيح أربعة أستراتيجيات سائدة لأنظمة التظليل المستجيبة هما أنظمة الطى ، أنظمة الغلق والفتح ، أنظمة تعدد الطبقات ، أنظمة الدوران (شكل 8). [20]

شكل 8: أستراتيجيات أنظمة التظليل المستجيبة

### 1.1.2 أنظمة الطى (Folding Systems)

نظام الطي هو من أحد الأنظمة المستجيبة المستخدمة بشكل متزايد فى الهندسة المعمارية في الآونة الأخيرة وخاصة فى أنظمة التظليل المستجيبة ، وهو نظام يعتمد فى حركته على طى الأسطح بحيث ينتج عن هذه الحركة تغير فى الشكل يسمح هذا التغير بالتحكم فى كمية الإضاءة الطبيعية داخل الفراغات ، وتكون هذه الحركة مجسمة بحيث أنه يمكن للسطح الحركة فى ثلاث أبعاد، وقد تم تطبيق هذا النوع من الأنظمة في العديد من المجالات الهندسية ، مثل الهياكل القابلة للتعديل وإعادة التشكيل. وقد استخدم نظام الطي أيضا في الأجهزة الطبية الحيوية ، وفي تطبيقات الفضاء والطائرات. ويمكن تقسيم أنظمة الطى إلى ثلاث أنواع هما : الطى فى المحور الرأسى (شكل 9) ، الطى فى المحور العمودى (شكل 10)، و الطى فى المحور الأفقى (شكل 11) .[20].

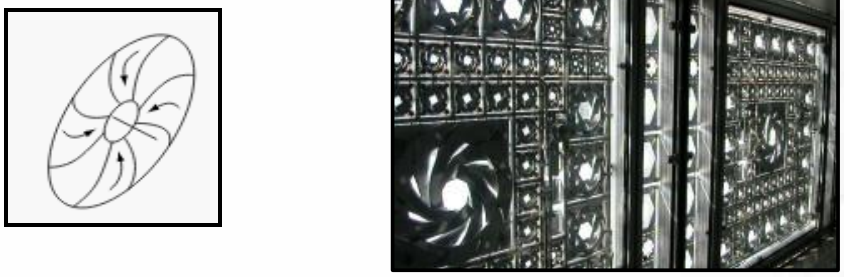
شكل 9 : الدوران فى المحور الرأسى / كمثال مبنى( Kiefer Technic Showroom)[24]

شكل 10: الدوران فى محور عمودى / كمثال مبنى (Al Bahar Towers) [24]

شكل 11: الدوران فى محور عمودى / كمثال مبنى (Thematic Pavilion)[24]

## 2.1.2 أنظمة الغلق والفتح (open and close Systems)

أنظمة الغلق والفتح المستجيبة هى أنظمة تظليل مشابهة لأنظمة الطى فى ألية التشغل ونظام نقل الحركة ، ولكن تختلف فى مبدأ التصميم والأداء عن أنظمة الطى ، حيث تكون الحركة فى نظام الغلق والفتح حركة خطية فى محورين (حركة ثنائية الأبعاد) (شكل 12) ، بينما تعتمد الحركة فى نظام الطى على الحركة المجسمة فى ثلاث محاور (حركة ثلاثية الأبعاد).[20]

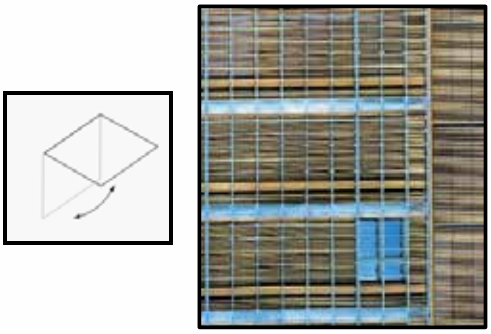


شكل 12: حركة فتحة العدسات / كمثال مبنى (arab world institute)[24]

## 3.1.2 أنظمة الدوران (Rotating Systems)

تتكون أنظمة التظليل الدورانية من نظام تظليل مصنوع إما من الزجاج أو المعدن أو الخشب ، وهو مصمم للتدوير إما حول محور أفقي أو رأسي بناءً على وضع الألواح الخاصة به (شكل 13) و(شكل 14)، ويفضل أستخدام الزجاج حيث أنه يسمح بالاستفادة من الإضاءة الطبيعية بشكل أفضل من المواد الأخرى . تكون الحركة الدورانية للأنظمة المستجيبة بطيئة على كل وحدة فى الغلاف ، بحيث تمنع أي ضوضاء أو إلهاء لمستخدمى المبنى طوال اليوم. وفيما يلى أحد الأمثلة التطبيقية لنظام الدوران. [20]

شكل 13: الدوران فى محور رأسى / كمثال مبنى (Centre de dialyse de Vienne)[24]



شكل 14: الدوران فى محور أفقى / كمثال مبنى (Debis Building)[24]

### 4.1.2 أنظمة متعددة الطبقات (Layered Systems)

تقوم فكرة هذه الأنظمة على تكوين النظام من عدد طبقات تكون مسؤلة هذه الطبقات عن عملية التظليل ، وذلك عن طريق تغير وتحريك كل طبقة بشكل منفصل (شكل 15) ، حسب المتطلبات الموجهة إليها من أجهزة الأستشعار و المحركات. [20]

شكل 15: حركة الأنزلاق / كمثال مبنى (Tessellate/Adaptive Building Initiative) [24]

يعتمد الأختلاف بين أستراتيجيات أنظمة التظليل المستجيبة على الأليات المستخدمة لكل نظام من حيث مبدأ التصميم والأداء ، المواد المستخدمة ، ونظام نقل الحركة (جدول2). ويعتمد تطبيق شكل التظليل الشمسي في المباني على المعايير التالية التي تحدد من خلالها المواد الذكية الأكثر ملائمة للأستخدام : (المقاومة للتآكل ، القوة والمتانة ، مدى الاستجابة ، قابلية التشغيل ، قابلة للتحقيق الحركة المتغيرة). [2]

جدول 2: الأليات المستخدمة فى أستراتيجيات أنظمة التظليل المستجيبة

| أستراتيجيات أنظمة التظليل المستجيبة | مبدأ التصميم والأداء | المواد المستخدمة | نظم نقل الحركة | |
|---|---|---|---|---|
| أنظمة الطى | * حركة مجسمة فى ثلاث محاور (ثلاثية الأبعاد) | * زجاج<br>* معدن<br>* خشب<br>* أنسجة | محركات (Actuators) | مواد ذكية (Smart Materials) |
| أنظمة الغلق والفتح و أنظمة تعدد الطبقات | * حركة خطية فى محورين (ثنائية الأبعاد) | | | محركات تقليدية Conventional ) (Actuators |
| أنظمة الدواران | * دوران حول محور أفقى<br>* دوران حول محور رأسى | | | |

## 2.2 خصائص أنظمة التظليل المستجيبة

تشير مصطلحات المتانة والمرونة ( robustness and flexibility) إلى القدرة على التعامل مع التغيرات. فيما يتعلق بالأغلفة المستجيبة نجد أن المتانة والمرونة هي مفاهيم نسبية ، ولذلك ينبغي لأي محاولة لوصف المرونة توضيح العلاقة مع المتانة والنظير الثابت للنظام ، الطريقة التي يستجيب بها النظام للظروف المتغيرة تشكل تمييزًا مهمًا بين الاثنين.فنجد أنه في حين تحاول التصاميم التى تتصف بالمتانة الحد من آثار الاضطرابات الخارجية ، والفصل التام بين البيئة الداخلية والبيئة الخارجية للحفاظ على البيئة الداخلية من التغيرات و الظروف البيئية المحيطة، تقوم التصميمات المرنة بالعكس عن طريق استغلال التغييرات في بيئتها عن قصد. من خلال التوقع ورد الفعل في مواجهة التغيير ، من المرجح أن تحافظ الأنظمة المرنة على قوة الأداء مقارنة بتصميم النظام الثابت القوي. في النهاية ، هذا المفهوم الدافع الأساسي الذى يجعل البيئة المبنية أكثر استجابة وديناميكية ، وبالتالي مرونة. فيما يتعلق بأغلفة المبنى ، يمكن توضيح طرق المرونة لدعم الأداء أثناء دورة حياة المبنى باستخدام ثلاثة خصائص مختلفة: القدرة على التكيف (Adaptability) ، والقدرة على تعدد الوظائف (Multi-Function) ، والقدرة على التطور (Evolvability). [15]

### 1.2.2 القدرة على التكيف (Adaptability)

قام (Ferguson et. al. , 2007) بتعريف القدرة على التكيف باعتبارها قدرة النظام على توفير الوظيفة المطلوبة ، مع الأخذ بعين الاعتبار معايير متعددة في ظل ظروف متغيرة من خلال متغيرات التصميم التي تغير قيمها المادية بمرور الوقت. تستطيع أغلفة البناء التي لها هذه الخاصية لتصرف باستجابة للتغيرات في الظروف المحيطة. إن القيام بذلك يوفر إمكانية تحقيق وفورات في الطاقة مقارنة بالمباني التقليدية لأن موارد الطاقة القيمة في بيئتنا يمكن استغلالها ، وبالتالي يمكن أن تعمل الأغلفة المستجيبة كوسيط مناخي ، والتفاوض بين احتياجات الراحة وما هو متاح في البيئة المحيطة. [15]

### 2.2.2 القدرة على تعدد الوظائف (Multi-Function)

ينشأ مفهوم القدرة على تعدد الوظائف من وجود متطلبات أداء متعددة، أو الحاجة إلى القيام بتغيرات جديدة بمرور الوقت. تعتبر "الشرفة التي يمكن طيها" مثالاً توضيحيًا للقدرة على تعدد الوظائف حيث تتميز بقدرة متعددة اعتمادًا على الظروف المحيطة وتفضيل المستخدمين ، فإنها تتغير من النافذة إلى شرفة عند الطلب (شكل 16). تختلف القدرة على تعدد الوظائف عن القدرة على التكيف بحيث يمكن لها تحقيق أهداف متعددة على التوالي ، وليس بشكل متزامن ، تقوم القدرة على تعدد الوظائف باستخدام أكثر كفاءة للموارد ، التطبيق الثاني للقدرة على تعدد الوظائف هو إمكانية التنوع المكاني ، يمكن أن تختلف خصائص غلاف المبنى باختلاف مواقع هيكل المبنى في نفس الوقت. وبهذه الطريقة ، يمكن أن تتفاعل التوجيهات المختلفة لغلاف المبنى بشكل مستقل مع الظروف المحيطة أو مع تفضيلات الراحة المميزة التي يطلبها المستخدمون الفرديون في مناطق منفصلة ، وتوفر الأغلفة المستجيبة فرصً للتكيف مع المستخدم الفردي ، بدلاً من أفضل متوسط للجميع ، كما هو موصى به عادة في المعايير. [15]

شكل 16: الشرفة متعددة الوظائف [15]

### 3.2.2 القدرة على التطور (Evolvability)

بينما تتعامل القدرة على التكيف والقدرة على تعدد الوظائف بشكل أساسي مع التغيرات قصيرة الأجل ، فإن قابلية التطور هي خاصية المرونة التي تتعامل مع التغييرات على مدى أفق زمني طويل ، فإن متطلبات البناء في المستقبل لا يمكن التنبؤ بها إلى حد كبير ، أو لا يمكن حتى أن تكون معروفة في مرحلة التصميم . إن أغلفة المباني التي يمكن أن تتطور مع مرور الوقت هي وسيلة لاستخلاص القيمة من عدم اليقين في الأحداث غير المتوقعة. تعتبر قابلية التطور أكثر القدرات تأثيرًا إيجابيًا ، القدرة على الحفاظ على الخيارات مفتوحة يحافظ على فرص للرد على التغيرات في المستقبل. فيما يتعلق بالبيئة المبنية ، أو قابلية التطور ، أو التي تسمى أحيانا إمكانية البقاء ، يمكن استخدامها للتعامل مع الظروف المتغيرة القادمة من الخارج (مثل تغير المناخ ، البيئة الحضرية المتغيرة ) أو من الداخل (على سبيل المثال التغييرات الوظيفية للمبنى ، تخطيط مساحة جديدة). في جميع هذه الحالات ، تزيد تطبيقات أنظمة التظليل المستجيبة من فرص استمرار المبنى في العمل على النحو المنشود ، دون أن يعاني من التأثيرات السلبية المحتملة للظروف المستقبلية غير المتوقعة. [15]

## 3.2 تقنيات أنظمة التظليل المستجيبة

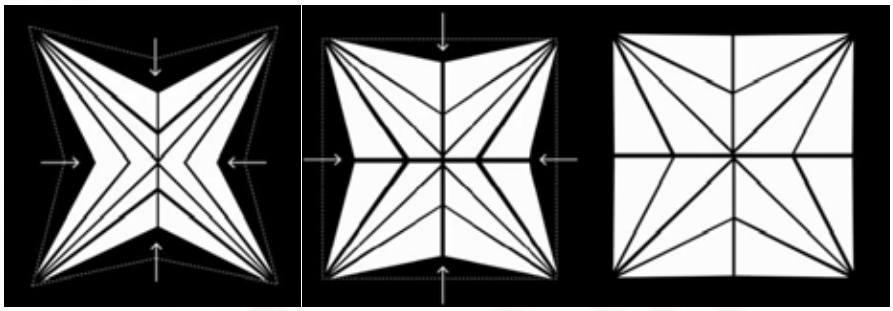
يؤدي الاهتمام المتزايد بأنظمة التظليل المستجيبة التي تعيد تشكيل نفسها لتلبية الظروف المناخية ومتطلبات المستخدمين إلى تصور أغلفة مبانى متعدد الشكل لتلبية الوظائف المختلفة ، وقد ظهرت الكثير من التقنيات التى تساعد على تحديد المعايير و المتغيرات المطلوبة فى التصميم الرامترى ، من أهم هذه التقنيات الأوريغمى (Origami Technique).[9]

### 1.3.2 تقنية الأوريغى (Origami Technique)

الأوريغمى هو فن ياباني تقليدي لطي الورق. الكلمة اليابانية "اوريغامي" هى كلمة مركبة من جزئين الجزء الأول "أوري" ويعني الطي والجزء الثانى "كامي" ويعنى الورق ، فيمكن تعريفه بكونه فن تشكيل التكوينات ثنائية الأبعاد وثلاثية الأبعاد عن طريق طى الورق ، وأيضا يعرف أنه طريقة لاستكشاف الأشكال في عملية التصميم ، والتي يمكن أن تؤدي إلى أبتكار أشكال جديدة. ظهرت تقاليد طي الورق خلال القرن الحادي عشر الميلادي في أوروبا والصين واليابان وكانت هذه التقاليد في الغالب تقاليد منفصلة فى كل دولة ، ولم يظهر استخدام المصطلح اوريغامي حتى نهاية القرن التاسع عشر أو بداية القرن العشرين. قبل هذا الوقت ، كان طي الورق معروفًا بمجموعة متنوعة من الأسماء ، بما في ذلك orikata و orisue و orimono و tatamgami.[9]

علم فن الاوريغامى علم واسع الحيله و يتمتع بقدر كبير من المرونة فرغم وجود بعض المحددات له الا انه يسمح لمستخدمه بالتوصل الى العديد من الاشكال الهندسية عن طريق وضع العلاقات الرياضية و تحديد الملامح المطلوبة حسب الغرض من الشكل ، هكذا يمكن دائما اكتشاف انواع و تقنيات و نظريات جديدة التى تمكن من الوصول الى نظام اوريغامى واضح يحقق الغرض المصنوع من اجله ، و تتضمن عملية طي سطح ثنائي الأبعاد إلى تكوين ثلاثي الأبعاد جوانب مهمة للتصميم والأداء المعماري ، حيث تسمح معظم تقنيات الأوريغامي السماح للتغير الحركي بالشكل مع الحفاظ على الاستقرار والثبات العام للنموذج.[9]

في الآونة الأخيرة ، يتم إجراء مشاريع لأكتشاف أغلفة مبانى باستخدام أفكار جديدة مستوحاة من فن الأوريجامي القديم . يمكن أعتبار فن الأوريغمى نوعًا من الخوارزمية اليدوية التي يمكن ترجمتها إلى نماذج بارامترية (Gao & Ramani). قدم (Lee & Leounis , 2011) أول برنامج ثانوي ، درس (Crawford , 2010) مجموعة من الأشكال الهندسية القابلة للطي لتوفير التهوية باستخدام التصميم البارامترى ، ويقدم فن الأوريغمى مجموعة من تقنيات طي الورق التي يمكن فهرستها واختبارها باستخدام برنامج التصميم البارامترى. ويستند فن الأوريغامي على التسلسل والشكل والعلاقة بين السطح والنقاط (شكل 17) . [9]



شكل 17: مراحل تصميم الأوريغمى[9]

## 4.2 مفهوم وأهمية العمارة الرقمية

يتم تحديد العمارة الرقمية من خلال العمليات الحسابية المستندة إلى تكوين النموذج والتحولات ، وبالتالي ، عمليات التشكل الرقمي ، مثل الهندسة الطوبولوجية topological geometries ، الحركة الحركية وديناميكيات motion kinematics and dynamics ، الرسوم المتحركة ذات الشكل الأساسي metamorphosis ، **التصميم البارامترى parametric design** ، الخوارزميات الجينية genetic algorithms. وسوف تناقش هذه الدراسة التصميم البارامترى.[8]

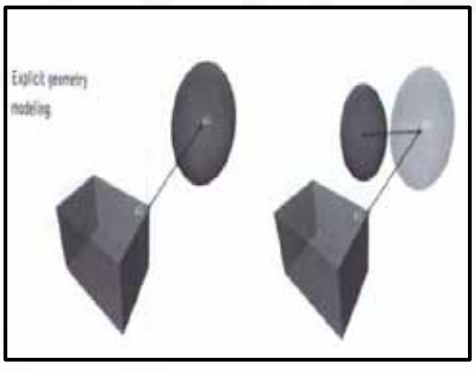
### 1.4.2 التصميم البارامترى (Parametric Design)

اكتسبت التصميم البارامترية في الهندسة المعمارية أهتماما متزايد على مدى السنوات القليلة الماضية. يشير المصطلح إلى نمذجة رقمية لسلسلة من المتغيرات التصميمية التي يتم تحديد علاقاتها مع بعضها البعض من خلال العمليات الحسابية والمعايير المختلفة. وتشكل هذه العلاقات حيزًا حدوديًا يمكن أن يولد أشكالًا مترابطة عدديًة ومتميزة (2009 ، Schumacher). ويتيح التصميم البارامترى للمعماريين إمكانية إجراء تعديلات على أي متغيرات دون الحاجة إلى إعادة إنشاء النموذج بأكمله (2013 ، Wagdy) ، وتوفير إمكانية كبيرة لاستكشافات التصميم الهندسي ، ويمكن للمصممين إنشاء "عدد لا حصر له من الأجسام المتشابهة مع خلق مجموعة من الإمكانيات لا حصر لها ".. يتيح استخدام هذا الأسلوب للمهندسين المعماريين قدرة عالية على تحسين المباني فيما يتعلق بجوانب الأداء المختلفة. ولا يزال يتعين رؤية تأثير هذا الاتجاه على بناء الأشكال والأغلفة وسلوكها فيما يتعلق بالمناخ. يمكن تعريف التصميم البارامتري "نظام ديناميكي للربط العلاقات بين متغيرات مختلفة" (Tedeshi, 2011, p.17) منذ أوائل عام 1980 ، تم تطوير العديد من البرمجيات البارامترية في صناعة البناء والتصميم. ومن أكثر البرامج البارامترية المستخدمة في التصميم والبناء (CATIA ، SolidWorks ، Rhinoceros/ Grasshopper ، Generative Components ، ParaCloud / GEM ، Revit ، ArchiCAD ، Digital Project ، Design Builder).[9] [12]

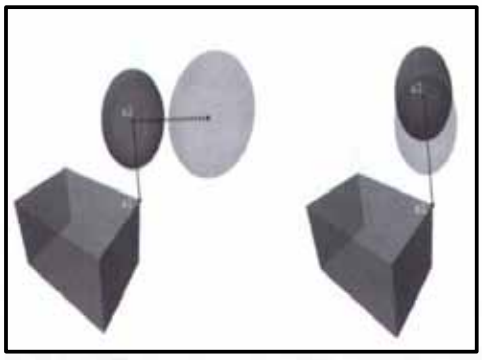
في التصميم البارامترى ، يتم تحديد عدد من متغيرات معينة من أجل التصميم ، ولا يتم تحديد شكله. عن طريق تعيين قيم مختلفة للمتغيرات تعمل على إنشاء تشكيلات أو تكوينات مختلفة. يمكن استخدام المعادلات لوصف ربط العلاقات بين التشكيلات ، ويأسس الاعتماد المتبادل بين التكوينات وسلوك التكوينات في ظل التغير. وكما لاحظ Mark Burry " إن القدرة على تحديد وتعريق العلاقات الهندسية للتكوينات الهندسية وإعادة تشكيلها لها قيمة خاصة فى التصميم". ربما كان المصطلح "تصميم بارامترى" هو المصطلح الأكثر ملاءمة لهذا النوع من التصميم ، فعن طريق التعديل فى أي متغير في أشكال المعادلة الجديدة يمكن إنشاء أشكال جديدة. لا تعد المتغيرات مجرد أرقام تتعلق بالهندسة ، بل يمكن أن تمثل معايير تعتمد على الأداء مثل مستويات الإضاءة الطبيعية أو مقاومة الحمل الهيكلي ، أو حتى مجموعة من المبادئ الجمالية. عندما يشير شخص ما إلى التصميم البارامتري ، فإنه عادة ما يشير إلى القدرة على تعديل الهندسة بوسائل أخرى غير المسح والإعادة. يُشار إلى التصميم البارامترى فى بعض الأحيان باسم "الهندسة الترابطية".[12]

### 2.4.2 التصميم البرامترى كعملية ترابطية

يوضح (شكل 18) مثال للتكوين الهندسى الغير ترابطي ، حيث يربط خط نقطتين فى كرة ومربع يصل الخط بين مركز الكرة و زاوية محددة في المربع. في حالة تغيير موقع الكرة ، يبقى الخط في مكانه. بينما يوضح (شكل 19) المعادلة البارامترية النظيرة للحالة في (شكل 18) ، حيث توجد الآن علاقة بين الكرة والمربع ، بحيث أن فى حالة تغيير موقع الكرة يسحب الخط معها لأن العلاقة بين جميع عناصر التكوين مرتبطو . فإذا تغير طول الخط ، تتحرك الكرة معه أيضا . يوضح هذا التطبيق البسيط استنتاج هام: إذا أمكن ربط الهندسة ، يمكن الربط فى مختلف المجالات كذلك. [12]




شكل 18: التكوين الهندسى الغير ترابطي [12]



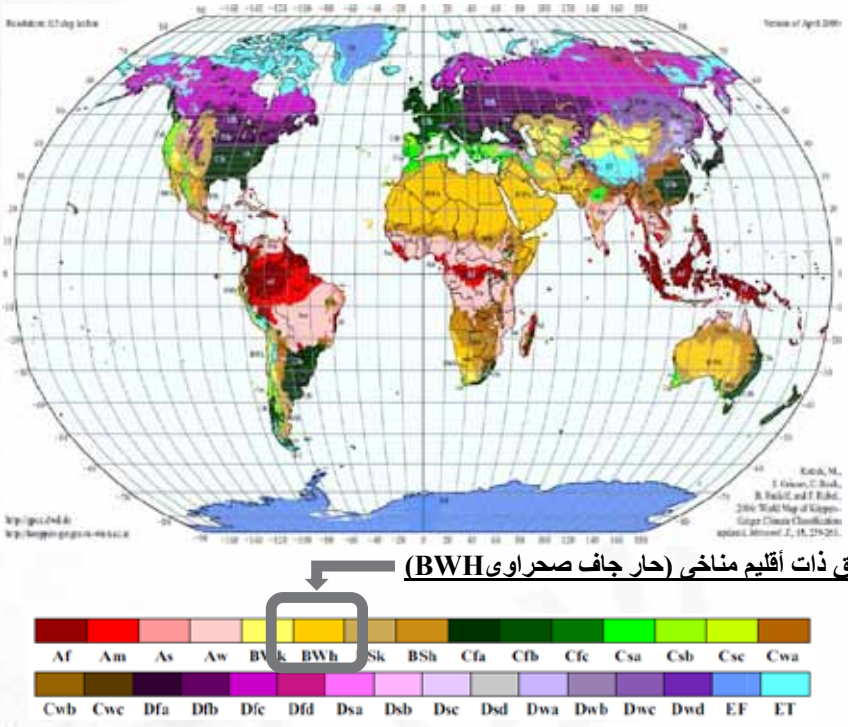
شكل 19: للتكوين الهندسى الترابطي [12]

### 3.4.2 صفات التصميم البارامترى

- غالباً ما يحتاج التصميم البارامتري إلى وصف خوارزمي (algorithmic description).
- تعتبر المتغيرات مفيدة بشكل خاص لنمذجة تشكيلات البناء المعقدة. يتطلب تطبيقها الناجح صياغة دقيقة لاستراتيجية واضحة لإيجاد علاقات بين المتطلبات و التصميم .
- لا يصمم المهندسون المعماريون الشكل المحدد للمبنى ولكن مجموعة من المبادئ يتم ترميزها كتسلسل من المعادلات البارامترية التي يمكن من خلالها إنشاء حالات معينة من التصميم وتغييرها حسب الوقت المطلوب.
- يطالب التصميم البارامتري برفض الحلول الثابتة واستكشاف إمكانات متغيرة بلا حدود.
- منهج التصميم البارامترى ، إذا تم تطبيقه من مرحلة الفكرة إلى مرحلة التطبيق ، يتغير بشكل جذري فى صناعة البناء. [12]

## 3 دراسة تحليلية لأنظمة التظليل المستجيبة

فى الجزء القادم من هذه الرسالة سوف يتم حليل مجموعة من المبانى الأدارية التى تم أستخدام أنظمة تظليل مستجيبة بها ، وذلك من خلال التحليل الشامل لثلاثة عناصر هما : تكوين نظام التظليل وألية تشغيل نظام التظليل وتقييم أداء نظام التظليل، وقد تم أختيار هذه المبانى لتلائمها مع المناخ الأقليمى الخاص بمدينة القاهرة،مصر ، حيث أن لديهم نفس الخصائص المناخية ، فيصنف مناخ القاهرة،مصر على أنه مناخ حار جاف صحراوي (BWH) وفقًا لنظام تصنيف المناخ (Köppen's) (شكل 20)، ويتصف هذا المناخ بإشعاع الشمس المباشر العالي والسماء الصافية التي تتطلب معالجات واجهة خاصة لتقليل كسب الحرارة مع توفير الإضاءة الطبيعية المناسب والحد من الضوء الساطع .[21]



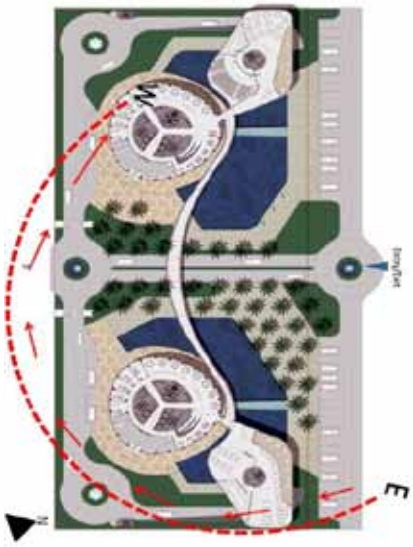

شكل 20 : تصنيفات الأقاليم المناخية عالميا (koppen geiger classification) [21]

## 1.3 مبنى البحار / El Bahar Towers

### 1.1.3 بيانات عامة للمبنى

| | |
|---|---|
| **نوع المبنى** | مبنى إدارى |
| **تاريخ المشروع** | 2012-2009 |
| **موقع المبنى** | أبو ظبى ، الأمارات العربية المتحدة. |
| **المناخ الأقليمى للمبنى** | مناخ حار جاف صحراوي (BWH). |
| **المصمم المعمارى** | Aedas Architects |
| **نظام التظليل** | نظام تظليل ذات حركة طى. |

شكل21 : مبنى البحار / El Bahar Towers [22]



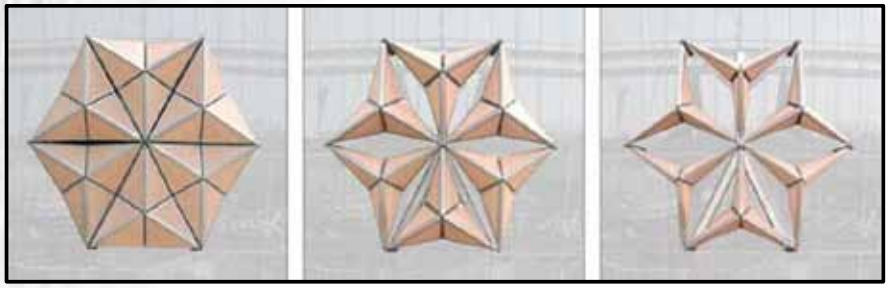
شكل 22 : موقع عام لمبنى البحار / El Bahar Towers [22]

### 2.1.3 تكوين نظام التظليل

يعتمد تصميم غلاف المبنى على وحدات متكررة ، تغلق وتفتح حسب المتطلبات الخارجية والداخلية ، وقد أستوحى هذا التصميم من مفهومين الزهرات المكيفة مع الطبيعة و "المشربيات" (شكل 23). [22]

شكل 23: مفاهيم تصميم نظام تظليل برج البحار [22]

يتكون نظام التظليل من حوالي ألف "مشربية" مثلثة الشكل مُنظّمة في وحدات سداسية ، ترتبط بواجهة زجاجية تقليدية على بعد مترين من المبني على إطار مستقل. يمكن للمشربية تغيير تكوينها من الفتح إلى الإغلاق من خلال الحركة الخطية والطي ، يتم برمجة أجهزة التظليل لتحويلها إلى ثلاث حالات حركية مغلقة تمامًا ، ومفتوحة في منتصفها ومفتوحة تمامًا (شكل 24)، والذي يتحكم فيه نظام إدارة المبنى الذي يتتبع حركة وموقع الشمس. (Sharaidin 2014) . هذه المشربية المتقدمة مصنوعة من شبكة الألياف الزجاجية المطلية بمادة (PTFE Poly Tetra Fluoro Ethylene) ، يواجه الشمال أشعة الشمس المباشرة فقط لفترة قصيرة في الصباح وبعد الظهر ، أي قبل وبعد ساعات العمل. وبالتالي ، فإن وحدات التظليل في المنطقة الشمالية كانت غير ضرورية. [22]



شكل 24: الحالات الحركية لنظام التظليل[22]

### 3.1.3 ألية تشغيل نظام التظليل

يتم التحكم في نظام التظليل بالكمبيوتر للاستجابة إلى الطاقة الشمسية والإضاءة الطبيعية. تجمع أنظمة التظليل في قطاعات ويتم تشغيلها من خلال برنامج تتبع الشمس الذي يتحكم في تسلسل الفتح والإغلاق وفقًا لزاوية الشمس. المحرك يكون مسؤل عن الفتح والغلق مرة واحدة في اليوم. إذا وجود غيوم أو رياح العالية ، تقوم مجموعة من أجهزة الاستشعار المدمجة في غلاف المبنى بإرسال إشارات مسجلة إلى وحدة التحكم لغلق جميع الوحدات. يوضح الشكل 3 نموذجًا ثلاثي الأبعاد مفصلاً لنظام التظليل. يتم التحكم في المشربية من خلال نظام إدارة مبنى مركزي يسمى (BMS) يمكنه التحكم في كل وحدة على حدة أو في مجموعات. يتم تشغيل النظام باستخدام تقنية Siemens التى تقوم بالتحكم الآلي المحدد مسبقًا بعد مرور الشمس طوال العام. يتم تحديث النظام كل 15 دقيقة باستخدام مقياس الضوء ومقياس الريح . تتمتع المشربية بعمر يصل إلى 20 عامًا بما في ذلك الألياف الزجاجية المغلفة بمادة PTFE (شكل 25)، كما تتمتع المحركات بعمر يصل إلى 15 عامًا. [3]

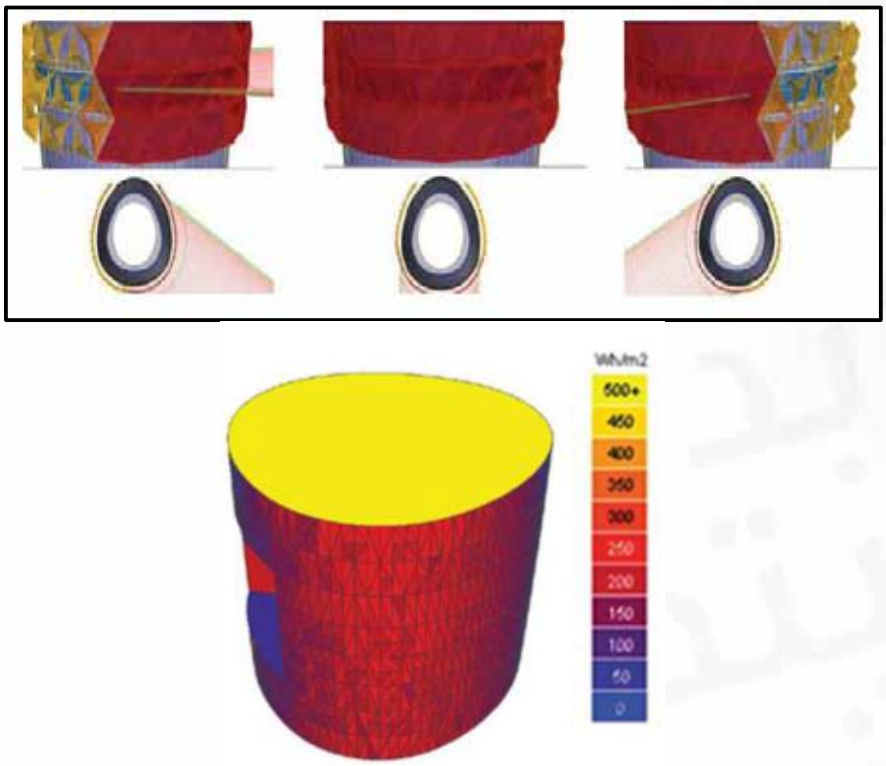
شكل 25: عناصر تصميم وحدة نظام التظليل [3]

### 4.1.3 تقيم أداء نظام التظليل

ووفقًا لتقديرات التصميم ، يجب أن يقلل نظام التظليل الخارجي من أحمال التبريد بنسبة تصل إلى 25 ٪ ، وتقل المكاسب فى الحرارة الشمسية بنسبة تصل من 20 ٪ إلى 50 ٪ مقارنة مع غيرها من المباني الجدران الساترية التقليدية . طور فريق التصميم وصفًا هندسيًا حدوديًا للنظام الخارجي وقام بمحاكاة تشغيله تحت زوايا مختلفة على مدار العام ، وقام بقياس

تأثير نظام التظليل على الأداء الحراري والطاقة في المبنى. عن طريق تقليل كسب الحرارة الشمسية ، يقلل النظام من متطلبات التبريد وبالتالي يقلل من استهلاك الطاقة. كما أنه يوزع أشعة الشمس المباشرة مع أسطحها الشفافة ، المصنوعة من الألياف الزجاجية ، والتي لا تحجب الرؤية إلى البيئة المحيطة بالمبنى.[3]

حقق نظام التظليل السماح بالإضاءة الطبيعية المنتشر إلى داخل المبنى والحفاظ على نسبة أضاءة طبيعية قيمة (Useful Daylight Illuminance /UDI) تتراوح بين 250 إلى 2000 لوكس طوال ساعات العمل اليومية (09:00 حتي 17:00). وبمجرد أن تحدد أجهزة استشعار نسبة إضاءة طبيعية أقل من 250 لوكس (شكل 26) ، يتم تنشيط المنظمات المرتبطة بين أجهزة الاستشعار والإضاءة الصناعية للحفاظ على مستوى الإضاءة المطلوبة.[3]




شكل 26: أداء الإضاءة الطبيعية بمبنى برج البحار [3]

تبين نتائج استطلاع رأى تم لمستخدمى المبنى . فيما يتعلق بالإضاءة الطبيعية ، تم توزيع النتائج على النحو التالي: 20٪ يشعرون بعد راحة عالية و40٪ يشعرون بأعتدال ، و40٪ يشعرون براحة عالية ، كان السبب الرئيسي لعدم الأرتياح يتعلق بفتح وإغلاق المشربية بشكل آلي .[3]

## 2.3 مبنى منتجع صحى / KAFD Spa

### 1.2.3 بيانات عامة للمبنى

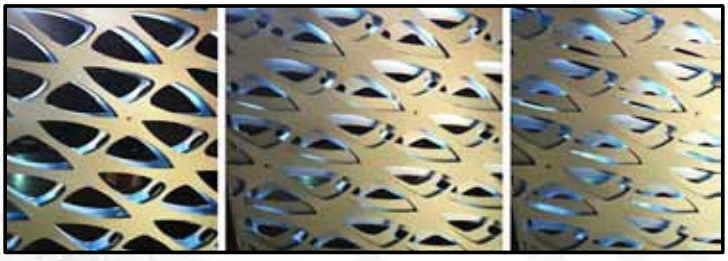
| | |
|---|---|
| **نوع المبنى** | مبنى أجتماعى ، إدارى |
| **تاريخ المشروع** | 2014 |
| **موقع المبنى** | الرياض ، المملكة العربية السعودية |
| **المناخ الأقليمى للمبنى** | مناخ حار جاف صحراوي (BWH). |
| **المصمم المعمارى** | Worksbureau Architectural Firm |
| **نظام التظليل** | نظام تظليل ذات حركة فتح وغلق مع نظام تعدد الطبقات. |

شكل 27 : مبنى منتجع صحى/ KAFD Spa [23]

شكل 28 : موقع عام لمبنى منتجع صحى/ KAFD Spa [23]

### 2.2.3 تكوين نظام التظليل

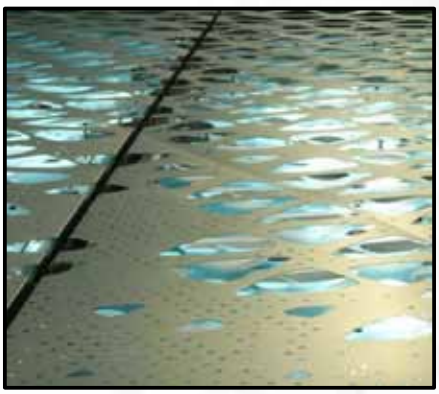
صنع نظام التظليل الديناميكي من التيتانيوم المتداخل اللوني .color-interference titanium على شكل طبقات فسيفساء حركية "Dynamic Tessellate" ، وهو عبارة عن غلاف مكون من عددة طبقات كل طبقة بها ثقوب ديناميكية تقوم هذه الطبقات بتنظم نسبة الإضاءة الطبيعية والكسب الشمسي داخل الفرااغات (شكل 29) ، وذلك استجابة للظروف البيئية المتغيرة. يتم تشغيل الشاشة بمحركات صغيرة ، حيث تتحرك الطبقات الوسطى ذهابًا وإيابًا ، مما يخلق الظل في حين أن هذا يسمح لتصميم داخلي هادئ . [23]



شكل 29 : الحالات الحركية لنظام التظليل [23]

### 3.2.3 ألية تشغيل نظام التظليل

صمم Chuck Hoberman بالأشتراك مع شركة A. Zahner، غلاف من التيتانيوم المثقوب الذي يتحرك لخلق أشكال متغير (شكل 30). مدعومًا بمحركات خطية صغيرة وأجهزة أستشعار تنقل التغيرات البيئية إلى المحركات لتقوم بتغير حركة طبقات نظام التظليل ، وترتبط كل طبقة بنظام تحكم منفصل بحيث يسمح بتغير كل طبقة بشكل منفصل حسب الأحتياجات المطلوبة فى الفراغات الداخلية ، ويوفر الغلاف الخارجى نسبة خصوصية للفراغات الداخلية (شكل 31 ). [23]



شكل 30 : طبقات غلاف التيتانيوم_[23]

شكل 31 : توفير الخصوصية فى الفراغ الداخلي_[23]

### 4.2.3 تقيم أداء نظام التظليل

تتداخل الطبقات المصنوعة من التيتانيوم ، مما يعمل على أنتشار و أنكعاس أشعة الشمس باستمرار (شكل 32)، وتظهر الأختبارات التى تمت على نموذج الغلاف أنه يمكن للنظام تقليل تكلفة تبريد المبنى بنسبة 15 إلى 20 % ( Alison Furuto 2013). [23]

شكل 32 : الإضاءة الطبيعية فى الفراغ الداخلى_[23]

## 3.3 مبنى مكتبة بورتون بارالمركزية / Burton Barr Central Library

### 1.3.3 بيانات عامة للمبنى

| | |
|---|---|
| **نوع المبنى** | مبنى أجتماعى ، إدارى |
| **تاريخ المشروع** | 1995 - 1989 |
| **موقع المبنى** | فينكس ، الولايات المتحدة الأمريكية |
| **المناخ الأقليمى للمبنى** | مناخ حار جاف صحراوي (BWH). |
| **المصمم المعمارى** | Bruder DWL Architects |
| **نظام التظليل** | نظام تظليل ذات حركة دورانية. |
| شكل 33 : مبنى مكتبة بورتون بارالمركزية [18] | شكل 34 : موقع عام لمبنى مكتبة بورتون بارالمركزية [18] |

### 2.3.3 تكوين نظام التظليل

استجابة لطقس المنطقة الحار ومن أجل التقليل من كسب الحرارة وتوفير الإضاءة الطبيعية مع التحكم في الضوء الساطع ، تقدم أغلفة المبنى أنواع مختلفة من أنظمة التظليل وفقًا للتوجيه ، هناك ثلاثة أنظمة تظليل فى المبنى هما : نظام تظليل شرائحى متحرك على الواجهة الجنوبية ، نظام تظليل شرائحى ثابت على الواجهتين الشرقية والغربية، نظام تظليل شرائعي ثابتة على الواجهة الشمالية. الواجهة الجنوبية هي عبارة عن واجهة زجاجية مع نظام تظليل شرائحى متحرك تم صنعه من قبل شركة "Kawneer" (شكل 35) ، يقوم بالحركة أستجابة إلى الظروف المناخية وذلك من خلال نظام تعقب أشعة الشمس الألى الذى يحتوى على مجموعة متطورة من اللوحات التي تتحكم في الكمبيوتر والتي يتم ضبطها وفقًا لموقع الشمس ، ويعمل نظام التظليل على الحماية من أشعة الشمس مع تقليل الإضاءة الساطعة.[18]

شكل 35 : نظام تظليل شرائحى متحرك[18]

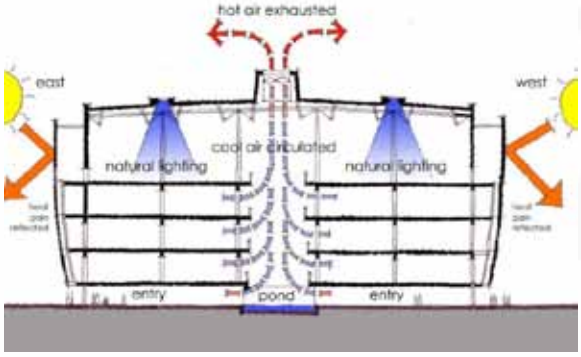
الواجهات الشرقية والغربية تكسوها شرائح نحاسية على إطار من الصلب (شكل 36). تعمل الشرائح النحاسية على حماية الفراغات الداخلية من أشعة الشمس ، عن طريق حجب أشعة الشمس المباشرة وتوفير أضاءة طبيعية منتشرة. ، تحتوي الفراغات الموجودة على الواجهتين الشرقية والغربية للمبنى على مكاتب الموظفين ، ودورات المياه ، ومصاعد الخدمة ، والخدمات الإضافية . تحتوى الواجهة الشمالية على 28 "أشرعة الظل" (شكل 37) ، وتكون أنظمة تظليل الشرائعية مثبتة في إطار وصنع نسيج الأشرعة من مادة تيفلون (Teflon fabric) ، المظلات الشراعية تم صنعها من قبل شركات "sails for boats" في مدينة Maine ، وتعمل بشكل أساسى على توفر الأتصال البصرى بالبيئة الخارجية للمدينة مع توزيع ونشر الإضاءة الطبيعية بشكل موحد.[18]

شكل 36 : نظام تظليل شرائحى الثابت للواجهتين الشرقية والغربية [18]

شكل 37 : نظام تظليل شرائحى الثابت للواجهة الشمالية [18]

### 3.3.3 ألية تشغيل نظام التظليل

يدار نظام التحكم في أنظمة التظليل الشرائحية من خلال أجهزة الاستشعار الموجودين فى 22 منارة تعلو المبنى تقوم أجهزة الأستشعار بتتبع حركة الشمس لضمان توفير الإضاءة الطبيعية المستمر ، يتم تحويل هذه البيانات لأجهزة الكمبيوتر التي تحدد الزاوية المثلى لانعكاسات أنظمة الاتظليل ، وتدور الشرائح الألومنيوم خلال النهار لمتابعة مسار ضوء الشمس . كل هذا يتم استكماله بنظام إضاءة معياري ينظم كفاءة استهلاك الطاقة (شكل 38).[18]




شكل 38 : نظام تشغيل المبنى [18]

### 4.3.3 تقيم أداء نظام التظليل

على الرغم من الظروف البيئية الصعبة المحيطة بالمبنى حيث يقع فى أقليم المناخ الصحراوي ، فقد تم إبقاء الإضاءة الطبيعية و درجة الحرارة تحت السيطرة واستخدمت كلاهما لجعل التصميم الداخلي أكثر راحة للمستخدمين ولتعزيز المبنى من الناحية الوظيفية والبيئية. يجمع المبنى بين الأنظمة الميكانيكية والهيكلية والإضاءة المبتكرة ، وهو أحد أكثر الرموز المعمارية تمثيلاً لمدينة فينكس . من أجل قدرته على التكيف وتصميمه المبتكر ، والتوفير فى أستهلاك الطاقة حيث حقق ما يعادل ثلث خفض استخدام الطاقة الذي خطط له في البداية من جهة خبراء من الخدمات العامة والحضرية ، وكذلك حقق

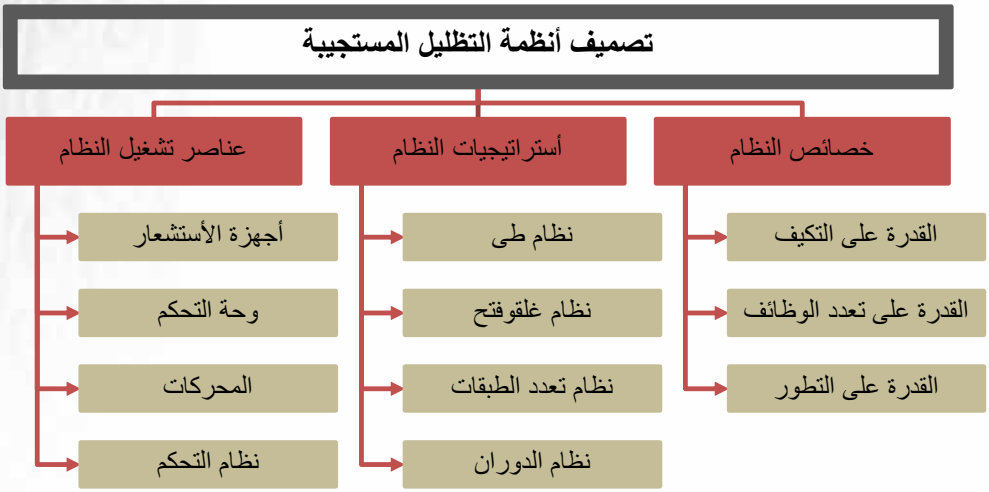
جمال معمارى منخفض التكلفة نسبيا ، وحصل المبنى على شهادة LEED الفضية بعد الإشغال وفاز بجائزة Crescordia للتميز البيئي من قبل منظمة Valley Forward Association. [18]

## 4 النتائج والتوصيات

تظهر الأستجابة مفهوم عام لحماية الأنظمة من التغيرات المفاجئة المحيطة وتظهر أنظمة التظليل المستجيبة أهمية هذا المفهوم فى التطبيقى العملى على المبانى ، مما يؤكد على أهميته فى معالجة المشاكل البيئية فى المبانى الإدارية القائمة ، وتدارك وجوده فى المبانى حديثة التشيد ، والجدير بالذكر أن الأنظمة المستجيبة ترتبط بالأستدامة كفهوم عام ، وتساهم فى رفع الكفاءة والأداء فى المبانى ، وفيما يلى أهم النتائج الذى تم التوصل أليها من خلال هذا البحث.

### 1.4 النتائج

فى هذا البحث تم مناقشة تقييم أداء أنظمة التظليل المستجيبة من جانب تحسين الإضاءة الطبيعية فى المبانى الإدارية وذلك من خلال جزئين ، الجزء الأول تم أستعراض تصنيف أنظمة التظليل المستجيبة ، ورغم أنه هناك عددة طرق لتصنيف مناهج أنظمة التظليل المستجيبة التى تم توضيحها فى الكثير من الدراسات والأبحاث السابقة و التى تم توضيحها فى هذه الباب ، إلا أنه يمكن تلخيص هذه الرق إلى تصنيف مجمع من خلال التركيز على أهم النقاط التى تؤثر على أختيار نظام التظليل المستجيب المناسب (شكل 39) يوضح ملخص لهذا التصنيف




شكل 39 : تصنيف أنظمة التظليل المستجيبة

كما أنه تم التعرف على أسلوب التصميم الأوريغمى البارامترى وتحديد صفاته وخصائصه المؤثر على العملية التصميمة لأنظمة التظليل المستجيبة ، وذلك لأعتباها من أهم التقنيات الحديثة لأنظمة التظليل المستجيب والتى تتلقى الكثير من الأهتمام فى التصميم المعمارى .

أما فى الجزى الثانى من هذا الباب تم تحليل أداء الإضاءة الطبيعية لأنظمة التظليل المستجيبة فى ثلاث حالات دراسية فى ثلاث مدن تتصف بأقليم مناخى حار جاف صحراوى (BWH) مثل أقليم مدينة القاهرة،مصر ،( ، ،) . أظهرت الدراسة التحليلية فى أول حالة دراسية (أبراج البحار/أبو ظبى/الأمارات المتحدة العربية) أن أنظمة الظليل المسجيبة حققت تقليل فى أحمال التبريد بنسبة تصل إلى 25 ٪ ، والتقليل فى المكاسب فى الحرارة الشمسية بنسبة تصل من 20 ٪ إلى 50 ٪ ، وتفير نسبة أضاءة طبيعية قيمة (Useful Daylight Illuminance /UDI) تتراوح بين 250 إلى 2000 لوكس. وأظهرت الحالة الدراسية الثانية (مبنى منتجع صحى/الرياض/المملكة العربية السعودية) أن أنظمة التظليل المستجيبة حققت تقليل فى أحمال التبريد بنسبة تصل من 15 ٪ إلى 20 ٪ ، كما أن نظام التظليل قام بتوفير إضاءة طبيعية منتشرة ومنعكسة من خلال الفتحات والطبقات على سطح الغلاف المكونة للتشكيلات الفسيفساء ، كما أظهرت الحالة الدراسية

الثالثة (مبنى مكتبة بورتن بار المركزية/ فينكس/الولايات المتحدة) أهمية تصميم أنظمة تظليل شمسية للمبنى بشكل منفصل لكل واجهة على حسب التوجيه ، وكيف أن وجد نظام يناسب كل توجيه يساعد على توفير إضاءة طبيعية مناسبة فى جميع الفراغات.

## 2.4 التوصيات

من خلال الدراسة النظرية والتحليلية القائمة فى هذا البحث ، يوصى بالتى:

- ضرورة التوصل إلى تحديد معايير ومناهج منظمة لأنظمة الظليل المسجيبة من قبل الهيئات والمنظمات المتخصصة ، وجعلها معايير قياسية لجميع المصممين و المعماريين حتى يصبح مجال أنظمة التظليل المستجيبة مجال معرف ومحدد فى الهندسة المعمارية.
- نشر وتوعية المصممين والمعمارين فى مصر بأهمية أنظمة التظليل المستجيبة ، والعمل على وفير الموارد والمهارات اللازمة لتطبيق هذه الأنظمة فى المبانى .
- القيام بدراسات تحدد مدى تكلفة هذه الأنظمة وأمكانية أدماجها فى المبانى دون الأحتياج إلى زيادة فى التكلفة المفروضة فى الأنشاء التقليدى.

## 5 المراجع

## 1.5 المراجع الأجنبية


1) Aelenei, D., Aelenei, L., & Vieira, C. P. (2016). Adaptive Façade: concept, applications, research questions. Energy Procedia, 91, PP 269-275.
2) Al Dakheel, J., & Tabet Aoul, K. (2017). Building Applications, Opportunities and Challenges of Active Shading Systems: A State-of-the-Art Review. Energies, 10(10), PP 1672.
3) Attia, S. (2017). Evaluation of adaptive facades: The case study of Al Bahr Towers in the UAE. QScience Connect, 2017(2),PP 6.
4) Barozzi, M., Lienhard, J., Zanelli, A., & Monticelli, C. (2016). The sustainability of adaptive envelopes: developments of kinetic architecture. Procedia Engineering, 155,PP 275-284.
5) BASARIR, B., & ALTUN, M. C. A Classification Approach for Adaptive Façades.
6) Braybrook, P. (2004). U.S. Patent Application No. 10/671,PP 828.
7) Crawford, S. (2010). A breathing building skin. In Proceedings of the 30th annual conference of the Association of Computer Aided Design in Architecture ACADIA (pp. 211-217).
8) El Daly, H. M. T. (2004). Architecture in the age of information technology, PHD, Ain Shams University.
9) Elghazi, Y., Wagdy, A., Mohamed, S., & Hassan, A. (2014). Daylighting driven design: optimizing kaleidocycle facade for hot arid climate. In Aachen: Fifth German-Austrian IBPSA Conference, RWTH Aachen University.
10) Elkhayat, Y. O. (2014). Interactive movement in kinetic architecture. Engineering Sciences, 42(2), PP 816-845.
11) Fiorito, F., Sauchelli, M., Arroyo, D., Pesenti, M., Imperadori, M., Masera, G., & Ranzi, G. (2016). Shape morphing solar shadings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 55, PP 863-884.
12) Grijalva, K. (2012). Associative Design for Building Envelopes' Sun Control and Shading Devices. Arizona State University.
13) Gunderson, R. D. (2015). RESPONSIVE BUILDING ENVELOPES PHD, Carleton University Ottawa.

14) HARRY, S. (2016). Dynamic Adaptive Building Envelopes–an Innovative and State-of-The-Art Technology.

15) Loonen, R. C., Trčka, M., Cóstola, D., & Hensen, J. L. M. (2013). Climate adaptive building shells: State-of-the-art and future challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25, PP 483-493.
16) Tashakori, M. (2014). Design of a computer controlled sun-tracking facade model.
17) Verma, S., & Devadass, P. (2013). Adaptive [skins]: Responsive building skin systems based on tensegrity principles.
18) Wigginton, M., & Harris, J. (2013). Intelligent skins. Routledge.

## 2.5 مواقع الأنترنت

19) https://advancedtextilessource.com/2013/10/08/responsive-textiles-vs-reactive-facade-systems/ Accessed March 2018.
20) http://noizear.com/database-of-adaptive-structures/index.html/ Accessed April 2018.
21) http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/ Accessed March 2018.
22) https://content.iospress.com/articles/journal-of-facade-design-and engineering/fde0040 / Accessed April 2018.
23) https://inhabitat.com/chuck-hoberman-designs-kinetic-building-canopy-to-filter-sunlight-in-riyadh/ Accessed March 2018.
24) http://sah-archipedia.org/buildings/AZ-01-013-0014/ Accessed March 2018.