ENGINEERING RESEARCH JOURNAL (ERJ)
Vol. 1, No. 42 October 2019, pp.184-196.
Journal Homepage: www.feng.bu.edu.eg

# دور الأنظمة الذكية السالبة بغلاف المبنى في دعم تطبيق العمارة الخضراء

# The Role of Intelligent Passive Systems in Building Skin to Support Green Architecture application

م. منى سعيد محمود العدوي[١] ؛ د. ناهد فتحي عبد الغني[٢] ؛ د. منال أحمد سمير أبو العلا[٣] ؛ د. إسلام غنيمي إبراهيم[٤]

[١]مهندسة معمارية
[٢]أستاذ العمارة المساعد قسم الهندسة المعمارية كلية الهندسة بشبرا
[٣]أستاذ العمارة قسم الهندسة المعمارية كلية الهندسة بشبرا
[٤]أستاذ العمارة المساعد قسم الهندسة المعمارية كلية الهندسة بشبرا

## ١. مقدمة

تعتبر العمارة الخضـــراء هي إحدي أهم الأتجاهات الحديثة التي تدعو لإرســاء دعائم فكر معماري وبيئي جديد بصــورة أكثر عمقاً وفهماً وأرتباطاً بالطبيعة. حيث ظهر هذا الإتجاه وغيره من الإتجاهات التي تدعو لمراعاة البيئة الطبيعية والتكامل معها، كنتيجة لما يشـــهده العالم من إهتماماً متزايداً بقضـــايا البيئة والتنمية المستدامة. بدأت العمارة الخضـراء في الظهور في السـبعينات من القرن الفائت في الدول المتقدمة, وبالرغم من أن هذه التوجهات بدأت تُأتي ثمارها في الغرب إلا أنها مازالت في مهدها في المنطقة العربية[١], والتي عرفت على مر العصـــور بمعالجاتها الســـالبة التى أصـــبحت تمثل مرجعاً لمعظم الأنظمة التكنولوجية التي تدعم العمارة الخضـــراء, لذا فقد ركز البحث على المعالجات الســـالبة بثوبها الجديد الممزوج بالذكاء في التفاعل والإســـتجابة والتي يعود معظمها في الأصـــل للعمارة العربية التي باتت تحبو نحو العمارة الخضـــراء. وقد ركز البحث على منطقة غلاف المبنى لما له من دور هام في الفصـــل بين الظروف المناخية خارج المبني والمتطلبات الوظيفية وتحقيق مســتويات الراحة داخل المبني, فهو يقوم بدور الوســيط بين بيئة المبنى وداخله واللذان يمثلان الأساس بالنسبة للعمارة الخضراء.

### ١.١. الأشكالية البحثية

تتمثل إشـــكالية البحث في تأخر العمارة العربية في اللحاق بركب العمارة الخضـــراء مع الحاجة الماســـة لتطبيقها في ظل المشـــكلات البيئية المتزايدة وندرة الموارد والطاقة. إلى جانب تسارع العمارة العربية في إستخدام التكنولوجيا بمختلف صورها وخاصة في أغلفة المباني, دون النظر في كونها مناسبة لبيئتنا أو لا, مما يزيد من مشكلاتها البيئية.

### ٢.١. هدف البحث

يهدف البحث إلى دعم تطبيق مبادئ العمارة الخضراء من خلال إستخدام الأنظمة التكنولوجية بغلاف المبنى ولكن بشكل مدروس بتناسب مع بيئتنا العربية, والتى عرفت منذ القدم بالمعالجات الســالبة. وذلك من خلال إســتخدام الأنظمة الســالبة ولكن بثوباً جديد ممزوج بالتكنولوجيا الذكية, مواكباً لعصــره ومراعياً لبيئته.

### ٣.١. منهج البحث

يعتمد منهج البحث على:

- **دراسة نظرية** للعمارة الخضراء ومفهومها ومبادئها ودراسة الأغلفة الذكية ومفهومها.
- **دراسة تحليلية** للأنظمة الذكية السالبة ودورها في تطبيق مبادئ العمارة الخضراء.
- **دراسة تطبيقية** لمبني عالمي أخضر يعتمد على الأنظمة الذكية السالبة.

## ٢. العمارة الخضراء

علي الرغم من أن مصطلح العمارة الخضراء يبدو جديداً إلي حداً ما، إلا أن جذور هذا الفكر الأخضر وتطبيقاته ليست بجديدة بل أنها قديمه بقدم الأنسان الذي تطور في علاقته ببيئته من محاولات التعايش مع الطبيعة والتأقلم معها كأتجاه فطري إلى محاولات قهر الطبيعة وتســخيرها مع الثورة الصـــناعية ثم العودة لمراعاة البيئة كولادة عصرية للعمارة الخضراء[٣].

### ١.٢. مفهوم العمارة الخضراء

العمارة الخضـراء هي إتجاه معماري معاصـر يسـعي للحفاظ علي البيئة الطبيعية ومواردها وحقوق الأجيال القادمة فيها, من خلال الحد من تأثير المبنى علي البيئة, وجعله جزءً منها كالنبات الأخضـر الذي يتكامل مع بيئته، حتى عند انتهاء دورة حياة المبنى فهو يراعي بيئته، بالأضـافة إلي الحد من تأثير المبنى على شاغليه[١٣].

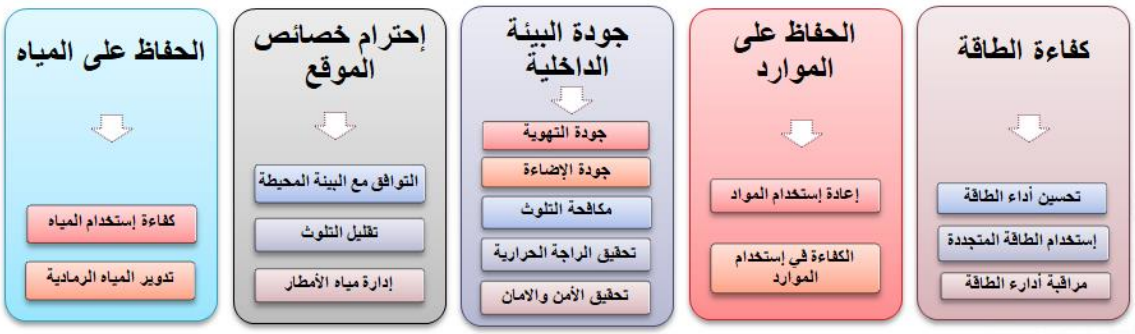
### ٢.٢. العمارة الخضراء في عالمنا العربي

يمكننا تتبع جذور هذه العمارة الخضـــراء فى بلادنا العربيه حيث كانت الموارد المتاحه بما فيها الارض ومواد البناء المحليه تســـتغل بكفاءه عاليه, كما أنها قدمت معالجات بيئية سالبة أسـهمت إلى حد كبير فى خلق التوافق البيئى بين المبنى والبيئه المحيطه, ومن تلك المعاجات الافنيه الداخليه والمشربيات وملاقف الهواء بالإضافه إلى إستغلال وتوظيف العناصر النباتيه فى التكييف البيئى.

### ٣.٢. مبادئ العمارة الخضراء وانظمة تقييمها

وقد أتفق بعض الخبراء في مجال العمارة الخضراء على ستة مبادئ رئيسية تمثل أسس ومبادئ العمارة الخضراء[٣]، وتشمل كلاً من الحفاظ على الطاقة, التكيف مع المناخ, التقليل من إستخدام الموارد الجديدة, إحترام الموقع, إحترام المتعاملين والمستعملين, التصميم الشامل, لا يجب النظر إلى هذه المبادئ على أنها قائمة ثابتة يجب أن يطبقها المصممين ككل في تصميمهم للمباني، ولكنها تعتبر بمثابة مؤشرات وتوجيهات تحوي بعض الأفكار والحلول للإستعانة بأكبر قدر منها. ولاشك أنه يوجد تداخل وأحياناً ترابط بين هذه المبادئ وبعضها[١].

ويمكننا تحديد هذه المبادئ الخضراء بشكل أقرب إلى الناحية العملية بالإستعانة بأنظمة تقييم العمارة الخضراء والتي تسعى إلى نقل المباني الخضراء لحيز الواقع والتشجيع على إنشائها ومراقبة أدائها, ومن أشهر هذه الأنظمة هو نظام LEED ونظام BREEAM[٢]. وبالجمع بين مجالات هذه الأنظمة والمبادئ السابقة توصل الباحث للمبادئ المجموعة في الشكل (١).




شكل (١) يوضح المبادئ الخضراء وأليات تطبيقها كناتج للجمع بين مجالات أنظمة التقييم والمبادئ الستة
المصدر: إعداد الباحث معتمداً على مجالات تقييم LEED, BREEAM

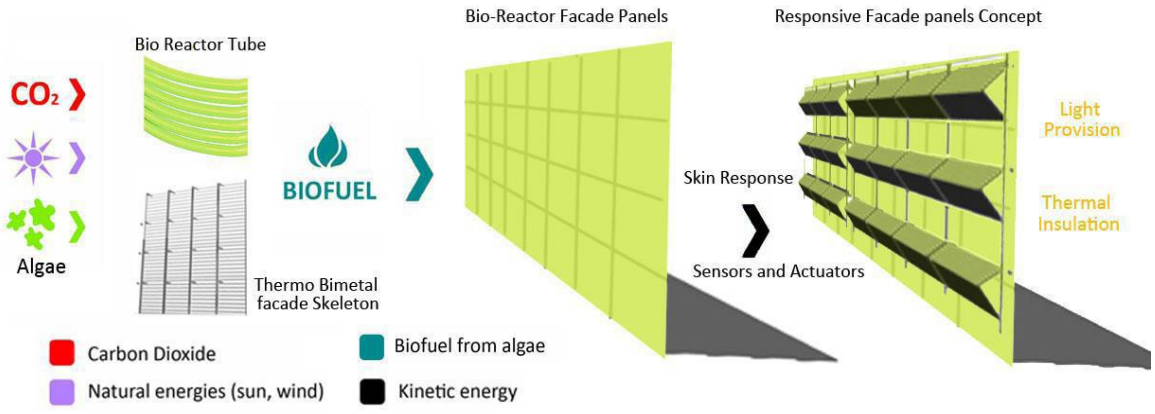
### ٣. غلاف المبنى Building Skin

في ضوء التطور التكنولوجي في أواخر القرن العشرين وعلوم الحوسبة والتحكم الألي والذكاء الإصطناعي, تم تطوير وتنفيذ بعض أغلفة المباني التي أُطلق عليها Building Skin أو جلد المبنى، ومعها تغير مفهوم وإدراك واجهة المبنى من الواجهة الساكنة إلى الواجهة الديناميكية للإستجابة للمؤثرات البيئية المتغيرة، وتحول دور الواجهة من مجرد حاجز بين الداخل والخارج للحماية من البيئة الخارجية إلى أنها مرشح بيئي لتوفير فراغات داخلية مريحة, تزيد من صحة وإنتاجية شاغلي المبنى وتقلل من إستهلاك المبنى للطاقة[١٧]. وقد إستخدام كلاً من Wigginton &Harris في كتابهم "Intelligent Skins" مصطلح Building Skin على أنه مصطلح مستعار من الجلد البشري الذي يحمي جميع أعضاء الجسم من التهديدات الخارجية، كما إستخداما المصطلح لوصف النسيج الخارجي المغلف للمبنى والذي يشكل سياج للحماية من التغيرات المناخية ويسمح بدخول الضوء إلى داخل المبنى، ويوفر الأمن والخصوصية، ويعدل تدفقات الطاقة[١٣].

ووفقاً لهذه المفاهيم فإن غلاف المبنى Building Skin يشمل الأسقف والحوائط الخارجية الشفافة وغير الشفافة والتي يشكل تصميمها أكبر وحدة تحكم في البيئة الداخلية فيما يتعلق بالصوت والضوء والحرارة والتهوية السليمة, حيث يرتبط بأهداف ملموسة ككفاءة إستخدام الطاقة، وتحقيق الراحة الحرارية لمستخدمي المبنى، وإستخدام مصادر الطاقة المتجددة، والتي تمثل أهم مبادئ العمارة الخضراء[١٧].

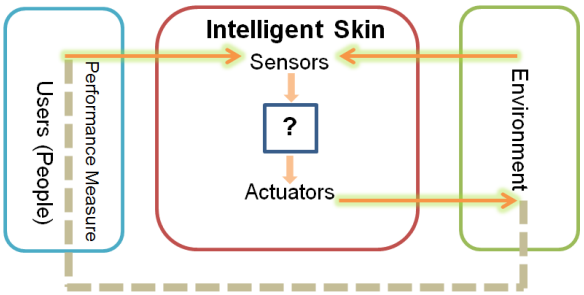
### ١.٣. الغلاف الذكي Intelligent Skin

تعتبر الأغلفة الذكية جزء جوهرى من المبنى الذكي الأوسع, وتسعى الأغلفة الذكية إلى تكييف نفسها مع بيئتها عن طريق الإدراك والإستنتاج ورد الفعل مما يمكنها من التعامل مع الأوضاع الجديدة وحل المشاكل التى تنشأ عن تفاعلها مع البيئة [٤]. وتتميز الأغلفة الذكية عن الأغلفة التقليدية بأنها تدمج العديد من الأنظمة والأليات المختلفة التى تسيطر وتتحكم في إمكانية تكيف غلاف المبنى الخارجي ليؤدي عمله كوسط منظم للمناخ[١٤], كما يوضح شكل (٢). لذا فقد تم الإشارة إلي الغلاف هنا في البحث بكلمة skin وليس Envelope لأن كلمة الجلد skin مناسبة أكبر للمرجعيه البيولوجية, حيث يعمل كمرشح وليس مغلف[٥].




شكل (٢) يوضح دور الغلاف الذكي في تكييف المبنى مع بيئته
المصدر: Ghavidel. Mahdi& Others, (2016), "Effect of Intelligent Skins on Energy Efficiency"

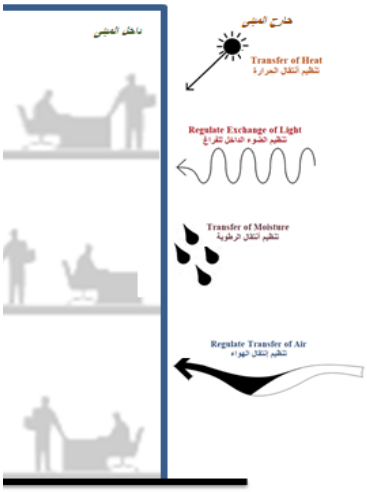
يؤدي الغلاف الذكي Intelligent Skin مجموعة من الوظائف للإستجابة للتغيرات البيئية والمحافظة على راحة المستخدمين بأقل إستهلاك للطاقة [٧]. ففي هذا الأغلفة تكون عناصر الواجهة قابلة للتكييف من خلال قدرتها على الضبط الذاتي في تعديل وتغيير شكلها وهيئتها. حيث تمثل الأغلفة الذكية جزءاً من أنظمة المبنى الذكي المتصل بالأجزاء الأخرى من المبنى خارج منطقة التغليف Enveloping Zone مثل الحساسات Sensors والمشغلات Actuators المتصلة معاً بواسطة أسلاك الأوامر Command Wires, وجميعها يتم التحكم بها من خلال إدارة المبنى المركزيةBMS التى تمثل مخ المبنى[٦]. كما يوضح شكل (٣).




شكل (٣) يوضح فكرة الغلاف الذكي وربطه بين البيئة الخارجية ومستخدمي الفراغ
المصدر: Capeluto. Guedi & Ochoa. Carlos, (2017), "Intelligent Envelopes for High Performance

وبإيجاز يمكننا تعريف الغلاف الذكي على أنه غلاف يتضمن تكنولوجيا متغيرة، ومن شأنه تعديل نفسه لتوفير ظروف الراحة داخل المبنى مهما كانت الظروف البيئية الخارجية وبأقل قدر من الطاقة المستهلكة[٨]. ويوضح شكل (٤) الوظائف الأساسية للغلاف الذكي. وبالدمج بين هذه الوظائف ومبادئ العمارة الخضراء نجد أن الغلاف الذكي لكي يكون داعماً للعمارة الخضراء لابد عليه أن يؤدي مجموعة أوسع من الوظائف الفرعية, وتتضمن [١٢]:

- حماية المبنى من الظروف البيئية الخارجية.
- تنظيم نقل الحرارة والهواء والماء بكفاءة.
- أن يكون الغلاف نفسة ومواد البناء المكون منها غير ضار بالبيئة.
- ألا يكون الغلاف ضارة بالبيئة الطبيعية في نهاية حياته.
- أن يدمج الغلاف أنظمة متعددة داخل غشاء رقيق.
- أن تكون قابلة للتكيف مع البيئة المحلية والاستجابة للمتغيرات البيئية.
- أن يكون شكلها ملاءم للمبنى وبيئته.




شكل (٤) الوظائف الأساسية لغلاف المبنى
المصدر: Yowell. John, (2011), "Biomimetic Building Skin"

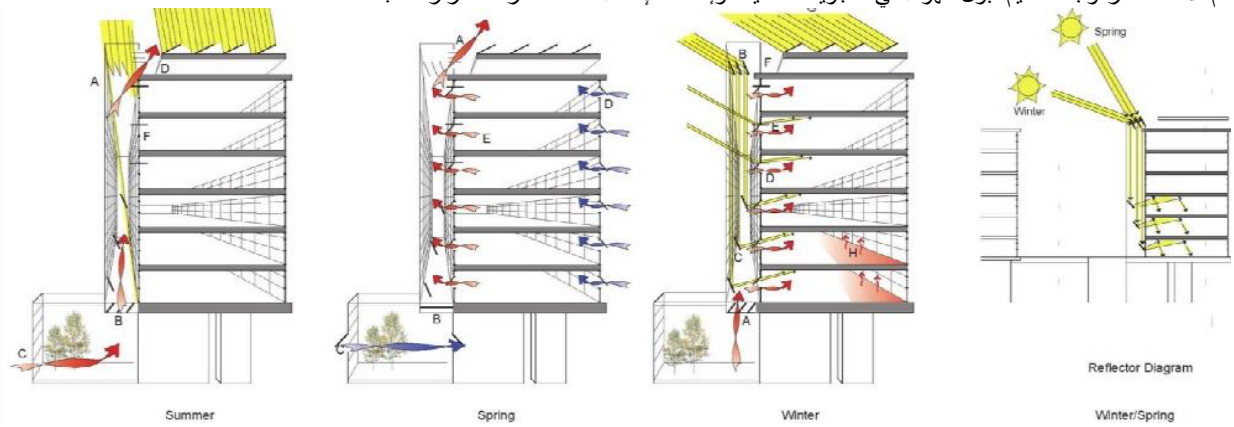
وبعمل دراسة على قطاع كبير من أغلفة المباني التي تعتمد على التكنولوجيا الفائقة تبين أنها في كثير من الأحيان لاتستطيع توفير هذه الوظائف السبع السابقة[١٢], لذا فإننا لسنا بحاجة إلى أنظمة تكنولوجيا ذكية فقط بل نحتاج إلى دمج وتكامل هذه الأنظمة الذكية مع الأنظمة والمعالجات السالبة لنصل في النهاية لغلاف أخضر قادر على تأدية مهامه بكفاءة. وفيما يلي سنُحاول جمع معظم الأنظمة الذكية السالبة بغلاف المبنى وبيان مدى قدرتها على دعم تطبيق العمارة الخضراء.

### ٤. الأنظمة الذكية السالبة

وتشمل الأنظمة التي تعتمد فكرتها على المعالجات السالبة للغلاف المبنى, والتي يمكن أن يدخل معها الأنظمة الميكانيكية كجانب مساعد. ومنها أنظمة الواجهات المزدوجة والتي تحمل بداخلها مجموعة من المعالجات, وأنظمة التظليل الشمسي, وأنظمة ضوء النهار, وأنظمة الأحياء المائية بأغلفة المباني.

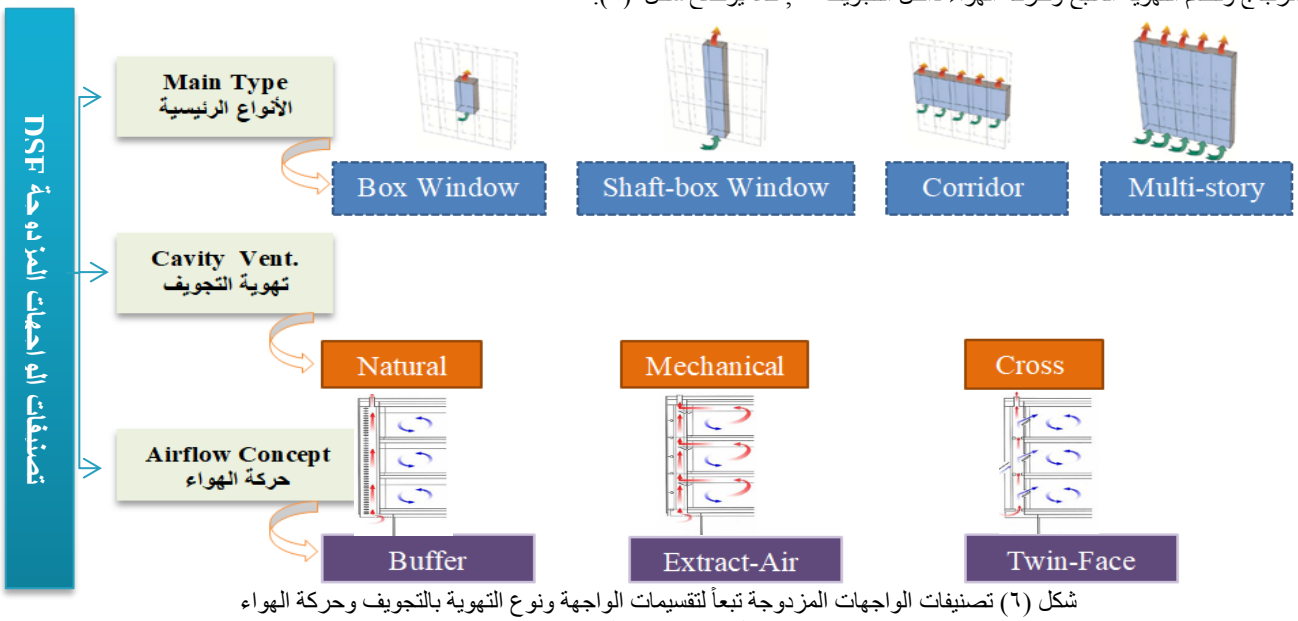
### ١.٤. نظام الواجهات المزدوجة Double Skin Facade

هو نظام ذكي يجمع بين طبقتين من غلاف المبني, والذي بدوره يخلق فرصاً لتعظيم ضوء النهار وتحسين أداء الطاقة. ففي فصل الصيف تعمل الواجهة المزدوجة على التقليل من إكتساب الحرارة من الشمس مما يساعد على تخفيف الحمل الحراري ضد الغلاف الداخلي عن طريق تجويف التهوية بين الطبقتين. أما في فصل الشتاء فتعمل الواجهة المزدوجة كمنطقة عازلة بين المبنى والبيئة الخارجية وتقلل من فقدان الحرارة وتحسن من قيمة U-Values, كما في شكل (٥). وقد إستخدمت آليات التحكم الذكي في معظم الأغلفة المزدوجة لتنظيم قبول الهواء في التجويف تلقائياً، أوإغلاقه لإنشاء منطقة عازلة للحرارة[١٠].




شكل (٥) يوضح فكرة عمل الواجهات المزدوجة خلال فصول السنة
المصدر: Wang. Shengwei,(2010), "Intelligent Buildings and Building Automation

يحمل نظام الواجهات المزدوجة في طياته العديد من التصنيفات. من أهمها التصنيفات تبعاً لإستراتيجيات التهوية والشكل المعماري والتقسيمات بين طبقتي الزجاج ونظام التهوية المتبع وحركة الهواء داخل التجويف[١٤], كما يوضح شكل (٦).



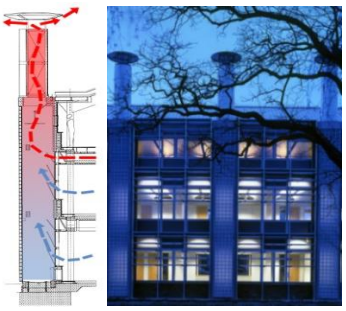

شكل (٦) تصنيفات الواجهات المزدوجة تبعاً لتقسيمات الواجهة ونوع التهوية بالتجويف وحركة الهواء
المصدر: إعداد الباحث

### ٢.٤. نظام مداخن التهوية Stack Effect Ventilation

هي إحدي الأنظمة السالبة التي إستُخدمت منذ القدم ولكن مع التقدم التكنولوجيا تم تطويرها وإستخدامها كنظام ذكي يدعم التهوية الطبيعية للمباني, وفي أغلب الأحيان تؤدي هذه الأبراج وظائف إضافية مثل توليد الطاقة من خلال وضع الخلايا الشمسية في قمتها أو على واجهتها. ويعتمد نظام التهوية بها أما على نظام Solar Chimney أو نظام Wind Towers كما يلي[١٥]:.

- **المداخن الشمسية Solar Chimney:** تُستخدم الشمس لتدفئة السطح الداخلي للمدخنة, وتساعد قوى الطفو الناتجة عن إختلاف درجات الحرارة على زيادة التدفق على طول المدخنة. ويجب أن يكون عرض المدخنة قريباً من عرض الجزء الحدودي بنهايتها لتجنب التدفق الخلفي المحتمل[١٦].كما يوضح الشكل (٧).

- **أبراج الرياح Wind Towers:** تعتمد على قوة الريح لتوليد حركة هوائية داخل المبنى. وهناك أنظمة مختلفة مبنية على هذا المبدأ. حيث يتم توجيه الرياح وسحبها نحو التجويف الداخلي للبرج ليحبس الهواء ويقوده إلى أسفل المدخنة لتحتفظ به حتى وأن كان المبنى مفتوح من الجهة التي تهب منها الرياح[١١].



شكل (٧) يوضح فكرة عمل المداخن الشمسية
المصدر: Elgendy. Karim, (2010), "A Damascus School Revives Traditional Cooling Techniques"

شكل (٨) يوضح فكرة عمل أبراج الرياح
المصدر: https://www.archdaily.com/173726/okanagan-college-centre-of-excellence-in-sustainable-building-technologies-and-renewable-energy-conservation-cei

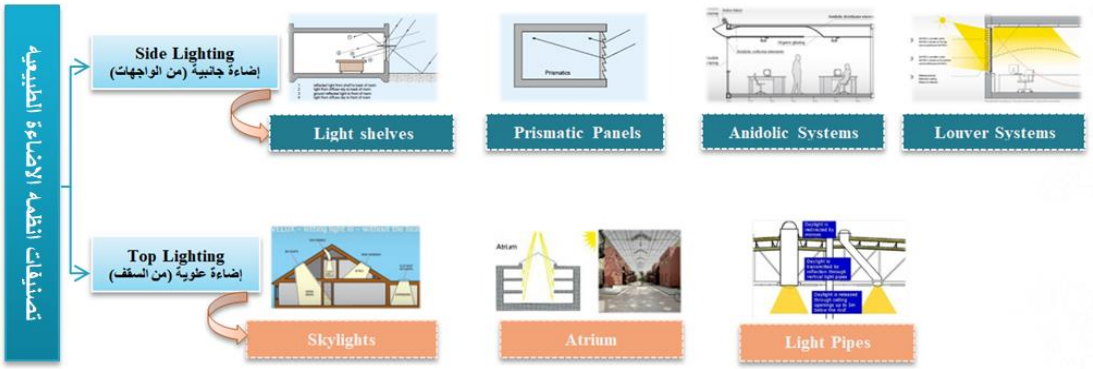
### ٣.٤. أنظمة التظليل الشمسي Solar shading Systems

تعتبر أنظمة التظليل مكون أساسي من مكونات الأغلفة الذكية والتى في الغالب ماتعتمد على مساحات كبيرة من الزجاج مما يتسبب في خلق تأثير الإحتباس الحراري ويسهم في إرتفاع درجة الحرارة وزيادة حمل التبريد كما يتسبب في مشاكل بصرية كالوهج المباشر والمنعكس. لذا فإن تطبيق أنظمة التظليل يعتبر ضرورياً للتحكم في إختراق أشعة الشمس من خلال الزجاج. حيث تمثل أنظمة التظليل الحدود الأولي للتحكم في الإشعاع الشمسي وخاصة أن كانت بالجهة الخارجية من الواجهات أوالأسقف, وبالتالي فإن لها تأثير كبير على إستهلاك الطاقة وجودة المناخ الداخلي[١٢]. وعلاوة على ذلك فإن أنظمة التظليل توفر للواجهة العديد من المميزات التي تدعم مبادئ العمارة الخضراء مثل تعظيم الإستفادة من ضوء النهار Daylight مع ضمان عدم زيادة درجة الحرارة والوهج Glare داخل الفراغ بالإضافة إلى توافر عنصر الرؤيا View والخصوصية Privacy مع إمكانية إستغلالها في توليد الطاقة Collection of sun energy[٢١]. مع التقدم التكنولوجي الهائل وتطور أنظمة التظليل بشكل واضح على أغلفة المباني فقد تعددت أنواعها وأشكالها وخامتها بشكل واسع, ويمكننا تصنيف أهم هذه الأنواع كما في شكل (٩)[٢٢].

شكل (٩) تصنيفات أنظمة التطليل تبعاً لموضعها وحركتها والتقنية التي تعمل بها
المصدر: إعداد الباحث

### ٤.٤. أنظمة ضوء النهار Daylight Systems

أنظمة ضوء النهار هي إحدي أهم الأنظمة الذكية السالبة التي تعتمد علي التصميم المعماري الجيد والتقنيات المتاحة فضلاً عن الإعتبارات المتعلقة بتوفير الراحة البصرية والحرارية حيث تراعي أنظمة ضوء النهار الذكي كلاً من الكسب والفقدان في الحرارة Heat gain/and loss والوهج glare والراحة البصرية visual comfort والتوفير في الطاقة energy savings[٢١]. وذلك من خلال تجميع الضوء وتعزيزه بإستخدام العواكس ونقل إلى فراغات المبنى أو من خلال إعادة توجيه وتوزيع ضوء النهار إلى المساحات التي تحتاج إلى الضوء و تحسين التوحيد في مستويات الإضاءة مثل تقليل المستويات الزائدة بالقرب من النافذة ، وإعادة توزيع الضوء على الجزء الخلفي من المساحة ، أو كليهما. بالإضافة إلى أمكانية التحكم في أشعة الشمس المباشرة لتحقيق الراحة البصرية[٢٠]. ويمكننا تقسيم أنظمة الأضاءة النهارية في غلاف المبنى كما في شكل (١٠).

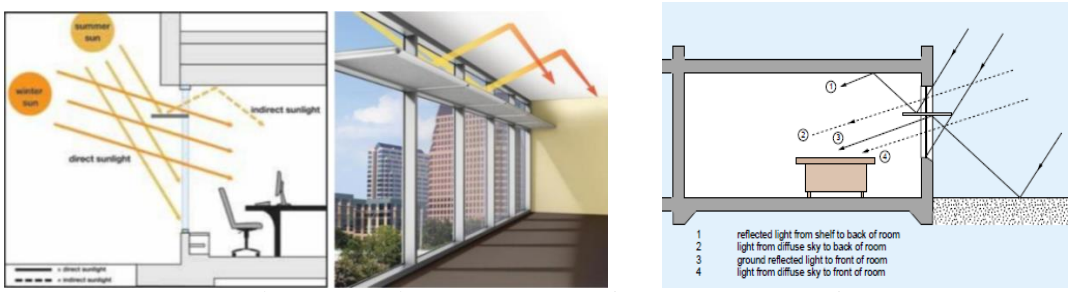



شكل (١٠) تصنيفات أنظمة الأضاءة الطبيعية Daylight Systems إلى إضاءة جانبية وعلوية
المصدر: إعداد الباحث

#### ١.٤.٤. أنظمة الأضاءة الجانبية Side Lighting

- **نظام Light shelves**

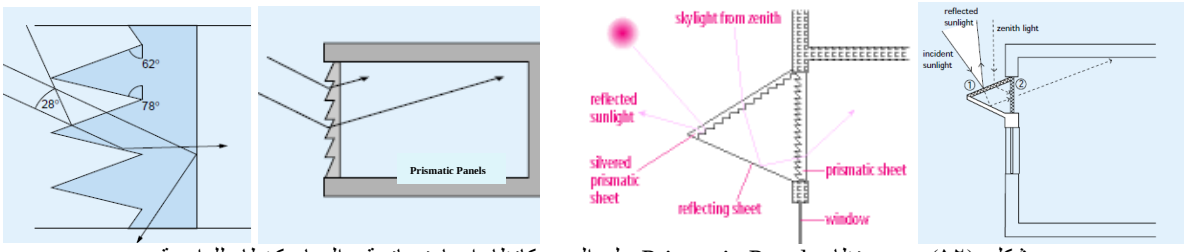
Lightshelf هو فاصل بين عتبة النافذة ورأس النافذة يقسم النافذة إلى منطقتين منفصلتين: الجزء العلوي يصبح عنصرًا شاملاً والسفلي يصبح جزءً للرؤيا, كما يوضح شكل (١١). ويكون Lightshelf إما مسطحًا أو مائلاً لتوصيل الضوء إلى مسافات أكثر عمقاً داخل الفراغ, ومع التكنولوجيا الذكية إستطاعت Lightshelf الحركة لتعديل زاويتها تلقائياً للحصول على أفضل نتائج على مدار العام[١٦][٢١].




شكل (١١) يوضح طريقة عمل نظام Light shelves لتوفير الإضاءة الطبيعية
المصدر: Fartadi-scurtu. Loana, (2015),"Daylight Planning: in Denmark's residential architecture"
Stack. Austin&Others, (2002)," Shading Systems: Solar Shading for the European climates"

- **نظام Prismatic Panels**

تعمل اللوحات المنشورية Prismatic Panels على كسر ضوء الشمس في مجموعة من الزاويا الساقطة وإعادة توجيهها إلى عمق داخل الفراغ. وقد تكون Prismatic Panels جامدة أو مرنة بالإضافة لتنوع أشكالها وأحجامها مما يسهل إستخدامها إما كجهاز إعادة توجيه في أنظمة الإضاءة الجانبية أوغطاء للواجهة [٢٣] كما في شكل (١٢).

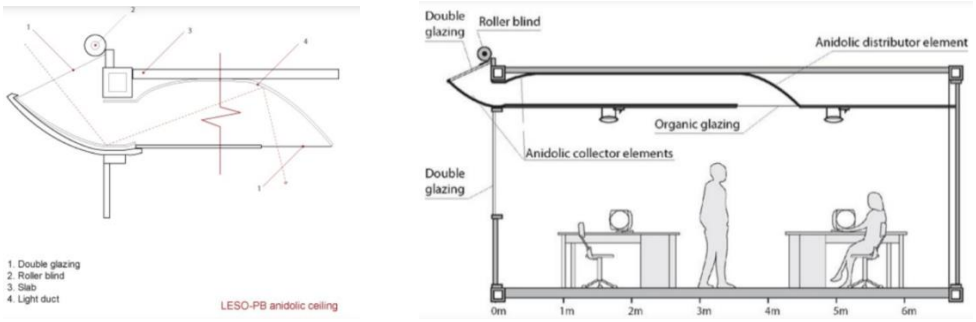



شكل (١٢) يوضح نظام Prismatic Panels على اليمين كانظام إضاءة جانبية, واليسار كغطاء للواجهة

المصدر: Butera. Federico M., (2014), "Sustainable Building Design For Tropical Climates"
Stack. Austin&Others, (2002)," Shading Systems: Solar Shading for the European climates"

- **نظام Anidolic Systems**

يعتمد نظام Anidolic على نفس المبدأ المستخدم في مركّزات parabolic الشمسية لإلتقاط ضوء النهار إلى نقطة محورية ثم إعادة توزيعه في الداخل كما في شكل (١٣), لذا فهو يعمل جيدًا في الأيام الملبدة بالغيوم بفضل المرآة المكافئة القطعية للنظام parabolic mirror الذي تقسم الضوء من النقطة المركزية لينتشر بشكل متساوي, ويتميز هذا النظام بقابليته للتكيف مع زوايا الشمس بدرجة عالية وكفاءته في العمل في جميع المواقع الجغرافية[١٦][٢٠].

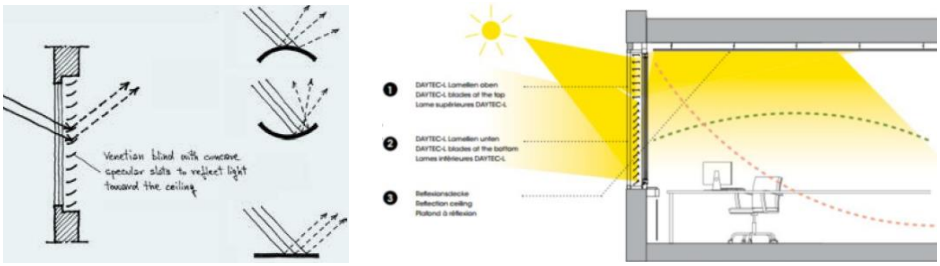



شكل (١٣) يوضح طريقة عمل نظام Anidolic لتوفير الإضاءة الطبيعية

المصدر: Fartadi-scurtu. Loana, (2015),"Daylight Planning: in Denmark's residential architecture"

- **نظام Louver Systems**

يستخدم نظام Louver مع أنظمة الإضاءة الجانبية الأخرى لتصفية الضوء الداخل للفراغ وتوفير الراحة البصرية داخل الفراغ. حيث تعمل Louverعلى توجيه الضوء الطبيعي في عمق الفراغ وتوفير التظليل الكافي في الصيف وتمكين الكسب الشمسي خلال فصل الشتاء وتقليل الوهج مع السماح في الوقت نفسه بمشاهدة المناظر الخارجية[١٩].




شكل (١٤) يوضح طريقة عمل نظام Louver لتوفير الإضاءة الطبيعية مع توفير الراحة البصرية

المصدر: Butera. Federico M., (2014), "Sustainable Building Design For Tropical Climates"

### ٤. ٢. أنظمة الأضاءة العلوية Top Lighting

- **نظام Skylights**

هو النظام الأكثر شيوعاً في أنظمة الإضاءة العلوية والذي يسمح للضوء الطبيعي بدخول المبنى كنظام مكمل في الأماكن التي لا تستطيع أنظمة الإضاءة الجانبية الوصول إليها. وهو عبارة عن فتحة بسيطة في السقف تتعدد أشكلها وأعماقها على حسب الحاجة كما يوضح شكل (١٥)[١١].

شكل (١٥) يوضح نظام Skylight لتوفير الإضاءة النهارية

المصدر: Boubekri. Mohamed, (2014),"Daylight Design: Planning Strategies and Best Practice

- نظام **Atrium**

الأتريوم هو فتحة سقف كبيرة تجلب الضوء الطبيعي في قلب المبنى. وتطبق غالباً في المكاتب والمباني التجارية, حيث تكون المنطقة الرئيسية للمبنى بعيدة عن الفتحات الجانبية. كما يوضح شكل (١٦) [٤].

شكل (١٦) يوضح نظام Atrium لتوفير الإضاءة النهارية

المصدر: Boubekri. Mohamed, (2014),"Daylight Design: Planning Strategies and Best Practice Solutions"

- **نظام Light Pipes**

أنبوب الإضاءة هو نظام إضاءة مبتكرة مصمم لإدخال الضوء الطبيعي في الطوابق السفلية من مبنى متعدد الطوابق. يتكون أنبوب الإضاءة التقليدي كما هو الحال في أي نظام أخر من ٣ مكونات متميزة هي الجامع ونظام النقل والموزع [٢٠] كما في شكل (١٧).

شكل (١٧) يوضح نظام Light Pipes وطريقة عمله لتوصيل الأضاءة الطبيعية بكفاءة عالية

المصدر: Al Bredenberg, (2012), "Sunportal Uses Pipes to Deliver Daylighting Anywhere Within a Building"

وهناك العديد من الأنظمة التي تم التوصل إليها والتي يمكن أن تحسب على الأنظمة الذكية السالبةً لأغلفة المباني, نستعرض منها فيما يلي نظام يعتمد على الأحياء الدقيقة والطحالب الميكروسكوبية التي يتم دمجها في أغلفة المباني لإستغلالها في تطبيق مبادئ العمارة الخضراء.

### ٥.٤. نظام المفاعل الحيوي الضوئي photobioreactor

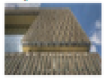
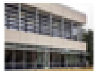
هو نظام مغلق أو شبه مغلق تعتمد فكرتة على نباتات وأعشاب بحرية وطحالب مكرسكوبية دقيقة, تحتاج إلى الحد الأدنى من العناصر والمدخلات كالضوء والماء وثاني أكسيد الكربون, كما أنها تنمو في الأماكن الضيقة بأشكال وأنواع وألوان وخصائص مختلفة ومتعددة لتناسب معظم الظروف البيئة وبأختصار فهي جزيئات ذات قيمة مضافة عالية. وتستخدم في أغلفة المباني علي صورة ألواح زجاجية مزدوجة أو ثلاثية أوأنابيب تحتوي على طبقة رقيقة من الماء في حدود٤ سنتيمترات, وبداخلها توجد الطحالب الدقيقة والكائنات الحية المجهرية التي تعيش عادة في المياه العذبة أوالمالحة [٢٤]. وأهم مايميزها أنها عبارة عن ممتصات فعالة لثاني أكسيد الكربون ومنتجات للكتلة الحيوية, كما أن هذه الأنظمة تستطيع أن توفر العديد من المزايا للمباني أهمها أنتاج الطاقة الحيوية والحرارة وكفاءة الطاقة وتنقية الهواء كما يوضح شكل (١٨) [٢٦].

شكل (١٨) المزايا التي توفرها أنظمة الأحياء المائية والطحالب الدقيقة للمباني المستخدمة فيها
المصدر: إعداد الباحث

من أهم المباني التي تبنت هذا النظام وأولها هو مبنى BIQ house بألمانيا. حيث تلون غلاف المبنى بملايين الطحالب الميكروسكوبية والتي يتم تغذيتها بالعناصر الطبيعية والأكسجين لتحفيز إنتاج الطاقة الحيوية، وبمساعدة أشعة الشمس المباشرة لتقوم الخلايا الصغيرة سريعة النمو بتسخين الماء حيث يقوم نظام الطاقة بالاحتفاظ بالطاقة الحرارية لإستخدمها في المبنى[٢٥].

شكل (١٩) يوضح تفاصيل غلاف مبنى BIQ ووحدات الأحياء المائية وطرق تركيبها
Stoller. Paul& Other, (2015), "UTS Living Algae Building Forum"

ويمكننا الجمع بين الأنظمة الذكية السالبة السابق ذكرها والمبادئ الخضراء التي يدعمها كل نظام من هذه الأنظمة في الجدول التالي:

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | الأليات التكنولوجية الداعمة للعمارة الخضراء في الغلاف الخارجي للمبنى<br>Technological mechanisms supporting green architecture in the building skin (١) | | | | | | | | | | |
| | | مسمى الألية | Passive technologies الأنظمة التكنولوجية السالبة | | | | | | | | | |
| | | | Double Skin Facade الواجهات المزدوجة | | | | | مداخن التهوية Stack Effect Ventilation | أنظمة التظليل الشمسي Solar Shading Systems | | أنظمة ضوء النهار Daylight Systems | نظام المفاعل الحيوي الضوئي Photobioreactor |
| | | | الواجهات الصندوقية Box Façade | واجهة الهياكل الصندوقية Shaft Box Facade | واجهة ممر الهواء Corridor Facade | الواجهة متعددة الطوابق Multi Story Facade | الواجهة ذات شرائح التهوية Louvers Facade | | أنظمة تظليل متحركة Dynamic shading Systems | أنظمة تظليل منتجة للطاقة PV shading Systems | | |
| | | المرجع | Knaack, Ulrich, Klein, Tillmann, Others,(2014), "Façades: Principles of Construction" | Saleh, Zakaei Mohammed, Alibaba, Halil, (2016),"Integration of Double Skin Facade with HVAC Systems' | Knaack, Ulrich, Klein, Tillmann, Others,(2014), "Façades: Principles of Construction" | Napier, John, (2013), "Manchester Civil Justice Centre" | فاضل، أسماء محجوب (٢٠١١)، "العمارة الذكية وإمكانياتها التكنولوجية في التصميم" | Lapithis, Petros, (2018), "Bioclimatic Architecture and Cyprus" | Ritter, Axel, (2007), "Smart Materials: in architecture, interior architecture and design" | Grijalva, Karla, (2012), "Associative Design for Building Envelopes " | Fatodiscoutu Louna (2015),"Daylight Planning: in Denmark's residential architecture" | Stoughton, John, (2017), "Dynamic Facades 34" Tectonic Harmonic |
| | | الوظيفة الداعمة لها | -دعم التهوية الطبيعية. -تحقيق الراحة الحرارية داخل المبنى | -دعم التهوية الطبيعية. -تحقيق الراحة الحرارية داخل المبنى | -دعم التهوية الطبيعية. -تحقيق الراحة الحرارية داخل المبنى | -دعم التهوية الطبيعية. -تحقيق الراحة الحرارية داخل المبنى | -دعم التهوية الطبيعية. -تحقيق الراحة الحرارية. -توفير التظليل وضوء النهار | -دعم التهوية الطبيعية. -توليد الطاقة الشمسية. | -توفير التظليل الشمسي تبعا لإتجاهات الشمس. -توفير عنصر الرؤية View. -الحماية من الوهج Glare. -توفير العزل الحراري. | -توفير التظليل المناسب تبعا لحركة الشمس والتفاعل معها واستغلال أشعة في توليد الطاقة | -دعم ضوء النهار. -تحقيق الراحة البصرية والحرارية. | -إنتاج الطاقة الحيوية. -تحقيق التظليل. -تنظيم درجة الحرارة. -تنقية الهواء وإزالة الملوثات. |
| | | مثال | مبنى One River Terrace | مبنى ARAG Tower | مبنى Manchester Civil Justice | مبنى 2331 EUR CENTER | مبنى Cambridge Public Library | مبنى كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة Nihon | مبنى Cellphane House  | مبنى ٢١ ماسا سنكيرو Straw scraper  | مبنى BCA academy | مبنى Bio Intelligent Quotient |
| مبادئ العمارة الخضراء Principles of Green Architecture | المبدا | المرجع | | | | | | | | | | |
| | كفاءة الطاقة | LEED http://www.usgbc.org/leed | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | الحفاظ على الموارد | BREEAM http://www. breeam. org /page.jsp?id=66 | | | | | | | | ✓ | ✓ | ✓ | |
| | جودة البيئة الداخلية | LEED http://www.usgbc.org/leed | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | إحترام خصائص الموقع | LEED http://www.usgbc.org/leed | | | | | | | ✓ | | | | ✓ |
| | الحفاظ على المياه | BREEAM http://www. breeam. org /page.jsp?id=66 | | | | | | | | | | | ✓ |

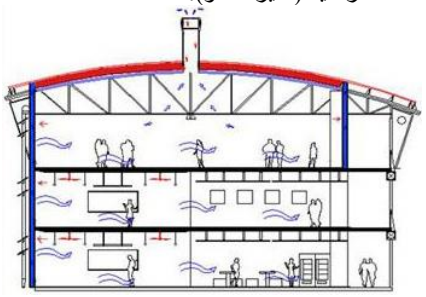
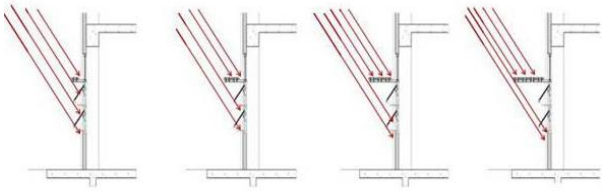
جدول (١) يجمع الأنظمة الذكية السالبة والمبادئ الخضراء التي بدعمها كل نظام
المصدر: إعداد الباحث

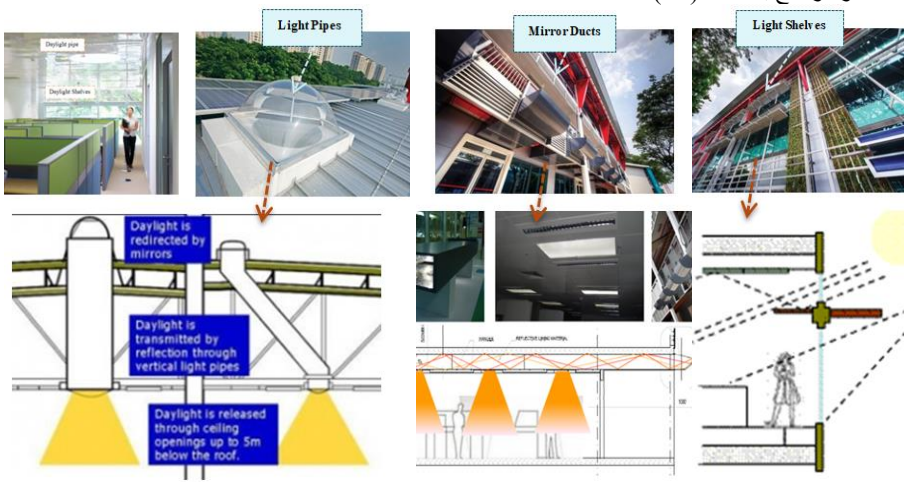
**٥. مثال تطبيقى للأنظمة الذكية السالبة**

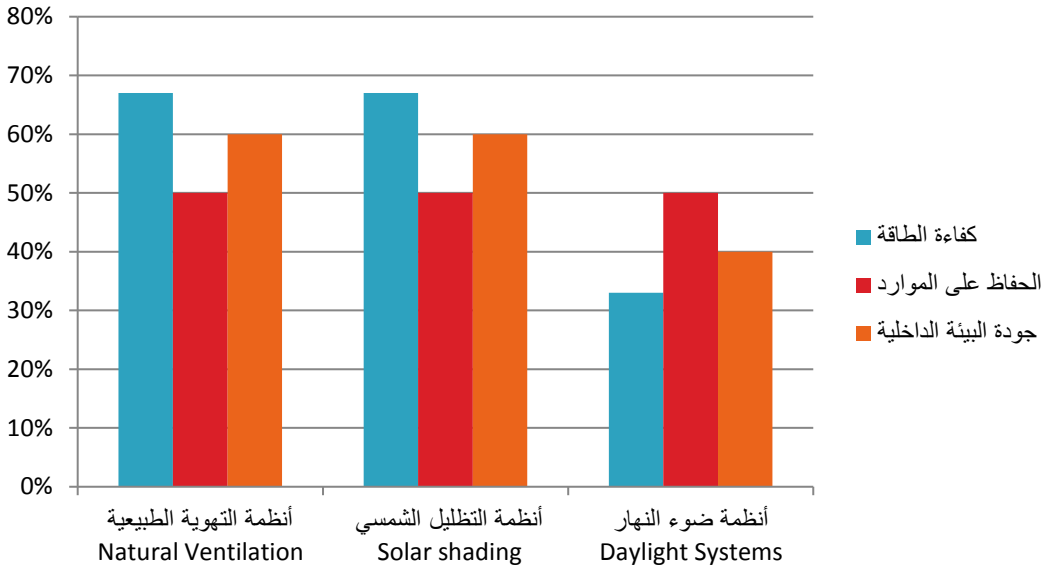
| مبنى Zero Energy Building in BCA academy [٢٧] | | | |
|---|---|---|---|
| **الموقع** | :سنغافورا Singapore | **التسليم** | : ٢٠٠٩ |
| **الوظيفة** | : مبنى أكاديمي | **المعماري** | : DP Architects Pte. Ltd |
| **النظام الذكية** | : أنظمة ضوء النهار Light Pipes & Light Shelves | | |
| **الجوائز** | : حاصل على شهادة جرين مارك بلاتينيوم من هيئة البناء والتشييد (٢٠٠٩)، جائزة القيادة الخضراء BCI (٢٠١٠)، جوائز آسيان للطاقة ASEAN (٢٠١١)، والعديد من الجوائز الاخرى. | | |

المبنى تابع لهيئة التشيد والبناء بسنغافور التى تدير نظام التقييم Green Mark، لذا كان لابد أن يعكس أفضل تقنيات العمارة الخضراء على الرغم من التحدي القائم في وجوده بمناخ مداري حار ورطب، وقد نجح المبنى بعد ٥ سنوات من التشغيل في الوصول zero energy مع توفير الراحة الحرارية والبصرية المتزايدة، وقد حقق المنبى ذلك بالإعتمام بشكل أساسي على الأنظمة الذكية السالبة والتى سنستعرضها فيما يلي.

جدول (٢) يوضح دعم الأليات الذكية السالبة في تحقيق مبادئ العمارة الخضراء بالمبنى مستعينة بالمبادئ بشكل ١ في النسب
المصدر: إعداد الباحث

| الأليات | الشرح | المبادئ الخضراء التي حققتها الألية |
|---|---|---|
| أنظمة التهوية الطبيعية Natural Ventilation | يعتمد المبنى على نظام Stack Ventilation بإستخدام المداخن الشمسية Solar Chimney الواقعة أعلى المبنى والمدعوم بالطاقة الشمسية باستخدام الحرارة المتروكة من الألواح الشمسية للحث على التهوية في قاعة الدراسية (تأثير الطفو).<br>  <br>شكل (٢٠) نظام التهوية الطبيعيةStack Ventilation<br>"Zero Energy Building: Submitted by Singapore", Asia-Pacific Economic Cooperation, USA. | حققت هذه الألية من مبدأ كفاءة الطاقة (تحسين أداء الطاقة، إستخدام الطاقة المتجددة) بنسبة ٣/٢ (٦٧٪)، ومن مبدأ الحفاظ على الموارد (كفاءة في إستخدام الموارد) بنسبة ٢/١(٥٠٪)، ومن مبدأ جودة البيئة الداخلية (جودة التهوية، مكافحة التلوث، الراحة الحرارية) بنسبة ٥/٣ (٦٠٪).<br>*(تم تحديد النسب تبعاً للمبادئ بشكل١)* |
| أنظمة التظليل الشمسي Solar shading | يعمل نظام التظليل الشمسي على تقليل أشعة الشمس المباشرة مما يقلل من اكتساب الطاقة الشمسية على الواجهة، دون المساس بضوء النهار والتهوية الطبيعية. بالإضافة إلى توفير الظل فقد تم تثبيت film amorphous photovoltaic panel لتدعم توليد الطاقة اللازمة لإضاءة المبنى بشكل كامل.<br>  <br>شكل (٢١) يوضح أنظمة التظليل الشمسي على غلاف المبنى<br>المصدر: Anderson. Collin, (2012), "The Master Architect Series: DP Architects" | حققت هذه الألية من مبدأ كفاءة الطاقة (تحسين أداء الطاقة، إستخدام الطاقة المتجددة)بنسبة ٣/٢ (٦٧٪)، ومن مبدأ الحفاظ على الموارد (كفاءة في إستخدام الموارد) بنسبة ٢/١(٥٠٪)، ومن مبدأ جودة البيئة الداخلية (جودة الإضاءة، مكافحة التلوث، الراحة الحرارية) بنسبة ٥/٣ (٦٠٪). |

| | | |
|---|---|---|
| أنظمة ضوء النهار Daylight Systems | يعتمد المنبى بشكل كبير على أنظمة ضوء النهار Daylight systems لتوفير الإضاءة المناسبة داخل الفراغات مع توفير قدر كبير من الطاقة. حيث يعتمد المبنى على ثلاثة أنظمة للإضاءة الطبيعية وهي نظام Mirror Ducts ونظام Light Shelves للأضاءة الجانبية ونظام Light Pipes للإضاءة العلوية[٢٦], كما هو موضح بالشكل (٢٢).<br>  <br>شكل (٢٢) يوضح أنظمة الإضاءة الطبيعية المستخدمة بمبنى أكاديمية BCA في سنغافورا<br>المصدر: Anderson. Collin, (2012), "The Master Architect Series: DP Architects" | حققت هذه الألية من مبدأ كفاءة الطاقة (تحسين أداء الطاقة)بنسبة ٣/١ (٣٣٪), ومن مبدأ الحفاظ على الموارد (كفاءة في إستخدام الموارد) بنسبة ٢/١(٥٠٪), ومن مبدأ جودة البيئة الداخلية (جودة الاضاءة, الراحة الحرارية) بنسبة ٥/٢ (٤٠٪). |




مخطط (١) يوضح نسب دعم الأليات الذكية السالبة في تحقيق مبادئ العمارة الخضراء بالمبنى

ووفقاً للمخطط السابق فإن الأنظمة الذكية السالبة تدعم تطبيق العمارة الخضراء بنسبة تتعدى ٥٠٪ تقريباً, محققة بذلك نسب مناسبة لأهم مبدئها وهي الكفاء في الطاقة والحفاظ على الموارد وجودة البيئة الداخلية.

## ٦. النتائج والتوصيات

مما سبق توصل الباحث إلى مجموعة من النتائج والتوصيات الخاصة بكل نقطة من النقاط البحثية, نفصلها فيما يلي:

### ١.٦. النتائج الخاصة بالعمارة الخضراء

- العمارة الخضراء تمثل ولادة عصرية لمفاهيم قديمة بقدم الإنسان في التعايش مع بيئته ومراعاتها.
- تهدف العمارة الخضراء على جعل المبنى جزء من البيئة كالنبات الأخضر الذي يتكامل مع بيئته.
- على الرغم من أن أتجاه العمارة الخضراء يبدوا جديداً على عالمنا العربي إلا أننا نستطيع تتبع جذور تلك الحركة في عمارتنا العربية.
- تمثل المعالجات العربية السالبة كالمشربيات والملاقف والكاسرات مرجعية لمعظم الأنظمة العالمية الحديثة التي تدعم العمارة الخضراء.
- من أهم مبادئ العمارة الخضراء وأكثرها تأثيراً: كفاءة الطاقة, وتوفير الرحة داخل المبنى, وأحترام المبنى لبيئته.

### ٢.٦. النتائج الخاصة بغلاف المبنى

- ساعدت الطفرة التكنولوجية في مجال العمارة في تغير مفهوم وإدراك الواجهة الساكنة إلى واجهة ديناميكية تتفاعل وتستجيب للتغيرات البيئية وإحتياجات المستخدمين.

- قامت الأنظمة الذكية بدور كبير في تحول غلاف المبنى من مجرد حاجز بين الداخل والخارج للحماية من البيئة الخارجية إلى مرشـــح بيئي يوفر الرحة للشاغلين ويحقق الكفاءة في الطاقة.
- مصطلح Skin أنسب من Envelope لمفهوم العمارة الخضراء لما له من مرجعية بيولوجية.

**٣.٦. النتائج الخاصة بالأنظمة الذكية السالبة**

- الدمج بين الأنظمة الذكية والمعالجات السالبة بغلاف المبنى يدعم بشكل قوى مبادئ العمارة الخضراء.
- ساعدت الأنظمة الذكية على الرفع من كفاءة المعالجات السالبة وقدرتها على التفاعل والإستجابة للمتغيرات البيئية.
- الأنظمة الذكية الســـالبة بغلاف المبنى تشـــمل أنظمة الواجهات المزدوجة وأنظمة الإضـــاءة الطبيعية وأنظمة التظليل وأنظمة التهوية الطبيعية والأنظمة الحيوية مثل نظام المفاعل الحيوي الضوئي.
- جميع الانظمة الذكية الســالبة الســابق ذكرها تحقق أهم مبادئ العمارة الخضــراء المتمثلة في كفاءة الطاقة وجودة البيئة الداخلية في حين يعد نظام المفاعل الحيوي الضوء أكبر هذه الانظمة دعماً لمبادئ العمارة الخضراء بغلاف المبنى.
- يمكن أستغلال أنظمة التظليل بغلاف المبنى في توليد الطاقة الكهربية بإستخدام الخلايا الشمسية.
- يعد أستخدام أنظمة الاضاءة العلوية وخاصة أنابيب الإضاءة من أهم أنظمة الأضاءة وأكثرها كفاءة.

**٤.٦. النتائج الخاصة بالنموذج محل الدراسة التطبيقة**

- يرى الباحث أن النموذج محل الدراســـة قد نجح في الأعتماد على بعض التقنيات الذكية الســـالبة بغلاف المبنى, لدعم تطبيق أهم مبادئ العمارة الخضراء والتي تشمل: كفاءة الطاقة, والحفاظ على الموارد, وجودة البيئة الداخلية. حيث حصل المبنى على العديد من الجوائز الخضراء التى تؤكد تطبيقه لهذه المبادئ.
- يرى الباحث أن المبنى قد نجح في إســتخدام نظام المداخن الشــمســية كنظام رئيســي للتهوية الطبيعية بالمبنى, بجانب التهوية الطبيعية من النوافذ والفتحات. إلا أن المبنى قد يحتاج في بعض الأحيان إلى أنظمة التهوية الميكانيكية كأنظمة مكملة.
- يرى الباحث أن المبنى قد نجح في إستخدام أنظمة التظليل بغلاف المبنى, وإستغلالها في دعم الإضاءة والتهوية الطبيعية, بالإضافة إلا أستغلالها في توليد الطاقة اللازمة للمبنى من خلال الخلايا الشمسية.
- يرى الباحث أن المبنى قد نجح في التركيز على أنظمة الإضـــاءة الطبيعية لما لها من دعم لوظيفة المبنى التعليمية, حيث أعتمد المبنى على ثلاثة أنظمة فعالة.
- يرى الباحث أن المبنى بالرغم من إعتماده على الكثير من الأنظمة الســالبة, إلا أنه لم يســتخدم نظام الواجهات المزدوجة الذي يعد من أهم الأنظمة السالبة, بالإضافة إلى نظام المفاعلات الحيوية التي يمكن أن يضيفها المبنى بدلاً من المساحات الخضراء المزروعة بالواجهة.

**٤.٦. التوصيات**

يوصـى البحث بضـرورة التوسـع فـي تطبيـق مبـادئ العمـارة الخضـراء فـي عالمنـا العربـي وخاصـة فـي أغلفـة المبـاني لما لهـا مـن أهميـة فـي الوسـاطة بين البيئة ومستخدمي المبنى.

- يوصى البحث بضرورة دعم المؤسسات الرسمية العربية للعمارة الخضراء والتشجيع عليها في المباني الجديد والمباني القائمة أيضاً.
- يوصى البحث بتطويع الانظمة التكنولوجية المتسارعة في دعم تطبيق العمارة الخضراء من خلال دمجها مع الانظمة السالبة الملاءمة لبيئتنا وعدم إستخدامها دون وعى.
- يوصى بالبحث بتطوير أنظمة جديدة تدمج بين الأنظمة الذكية والمعالجات السالبة.

**٧. المراجع**


[1] 15) Lapithis. Petroe, (2018), "Bioclimatic Architecture and Cyprus", Pantheon Cultural Association, Nicosia, Cyprus, p.30,

[2] 12) Capeluto. Guedi & Ochoa. Carlos, (2017), "Intelligent Envelopes for High Performance Buildings", Springer international publishing, Switzerland, P.34,51, 52.

[3] 16) Butera. Federico M., (2014), "Sustainable Building Design For Tropical Climates: Principles and Applications for Estern Africa", UN-Habitat, Nairobi, GPO Kenya, P.77, 78, 86, 90.

[4] 23) Boubekri. Mohamed, (2014),"Daylight Design: Planning Strategies and Best Practice Solutions", Birkhäuser Verlag GmbH, Basel, Switzerland, P.65,

[5] 26) Mattei. Enrico, (2014), "BIQ House and SolarLeaf: The Use of Microalgae", FEEM – Fondazione Eni Enrico Mattei, Hamburg, Germany, P.2.

[6] 8) Wang. Shengwei,(2010), "Intelligent Buildings and Building Automation", Spon Press, an Imprint of Taylor& Francis Group, Abingdon, Oxon, USA, P.6, 7, 9.

[7] 5) Bauer. Michael, Mösle, Schwarz, (2009),"Green Building: Guidebook for Sustainable Architecture", Springer Science & Business Media, London, New York. P.15.

[٨] 1) وزيري. يحي حسن، (٢٠٠٣)، "التصميم المِعماري الصديق للبيئة- نحو عِمارة خضراء"، مكتبة مدبولي، القاهرة، مصر, ص٩, ٧٩.

[9] 13) Wigginton. Michael & Harris. Jude, (2002) "Intelligent skins" Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford. P.7, 17.

[10] 21) Stack. Austin, Goulding. John, Lewis.J., (2002), "Shading Systems: Solar Shading for the European Climates", ENERGIE publication, Ireland, P.4,6.

[11] 20) Fartadi-scurtu. Loana, (2015),"Daylight Planning: in Denmark's residential architecture" Ph.D. in architectural Technology and Construction Management, Lillebaelt academy of Professional Higher Education, Denmark, P.18, 34, 35, 66, 67.

[12] 17) Nielsen. Martin Vraa, (2012), "Integrated Energy Design of the Building Envelope", PhD thesis, Depart - ment of Civil Engineering, Technical University, Denmark. P.38, 44.

[١٣] ٢) طـه. أمـل محمـد أبـراهيم . وأخـرون ، (٢٠١٤)، "دراسـة مقارنـة لأنظمـة تقيـيم العمـارة الخضـراء"، مجلـة العلـوم الهندسـية، المجلـد ٤٢، العدد (٤)، كلية الهندسة، جامعة أسيوط، مصر, ص ١٠٣٣.

[١٤] ٧) فاضل. أسماء مجدي, (٢٠١١), "العمارة الذكية وإنعكاسها التكنولوجي على التصميم: دراسة حالة المباني الإدارية ", رسالة ماجستير غير منشورة, قسم العمارة, كلية الهندسة جامعة القاهرة, الجيزة, مصر, ص٢٦.

[15] 11) Yowell. John, (2011), "Biomimetic Building Skin: A Phenomenological Approach Using Tree Bark As Model",MSc. thesis in Architecture, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, U.S.A, P.61, 62, 86, 88.

[١٦] ٣) أبوبكر. صفاء محمد محمود سيد، (٢٠٠٩)، "تكنولوجيا عمارة المحاكاة الطبيعية"، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الهندسة جامعة عين شمس، القاهرة، مصر, ص١٨.

[١٧] ٤) حنا.هالة أديب، (٢٠١٧)، "الإطار المفاهيمي لجلد البناء"، ورقة بحثية منشـــورة، مجلة العلوم الهندســـية ،جامعة أســـيوط، مصـــر.العدد ٤٥.مجلد٢, ص٢٠٢, ٢٠٤.

[18] 6) Thun. Geoffrey, Velikov. Kathy, (2013), "Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms" Paradigms" in "Design and Construction of High-Performance Homes: Building Envelopes, Renewable Energies and Integrated Practice", Franca Trubiano, London, P.76.

[19] 10) Ali. Nasra Nasir, Alibaba. Halil, (2017), "Comparison of Intelligent Façade's Energy Efficiency in Hot and Humid Climate against Passive Cooling Systems" paper published in International Journal of Recent Research in Civil and Mechanical Engineering (IJRRCME) Vol. 3, Issue 2, P.25-27.

[20] 14) Berardi. Umberto & Others, (2012), "Intelligent Facades in Low-Energy Buildings", British Journal of Environment & Climate Change, Vol.2,Issue 4, P.443, 448.

[21] 18) Kuhn. Tilmann E. , (2017), "State of the art of advanced solar control devices for buildings", Solar Energy journal, Published by Elservier Ltd, P.121.

[22] 19) Bellia. Laura& Others, (2014), "An overview on solar shading systems for buildings", 6th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-14, Published by Elservier Ltd, P.311.

[23] 22) Park. Daekwon, (2014), "Dynamic daylight control system implementing thin cast arrays of polydimethylsiloxane-based millimeter-scale transparent louvers", Building and Environment, Elsevier Ltd, Vol. 82, P.88, 90.

[24] 24) Stoller. Paul& Other, (2015), "UTS Living Algae Building Forum: Shaping a research agenda around emerging technologies" Living Algae Building Forum 7 July 2015, University of Technology, Sydney, P.3, 5, 8.

[25] 25) Stoughton. John, (2017), "Dynamic Facades 34" Tectonic Harmonic, Fabcon precast, USA, P.38.

[26] 27) http://www.hpbmagazine.org/attachments/article/12186/15S-Zero-Energy-Building-BCA-Academy-Singapore.pdf