توظيف الطاقة الشمسية في الأبنية التعليمية

د.م. شعيب إبراهيم* م. شذا حبش**

(الإيداع: 31 آب 2020، القبول: 7 كانون الأول 2020)

الملخص:

يحاول البحث من خلال استعراض بعض النماذج العالمية والعربية وتحليلها وفق قواعد وأسس نظرية أن يقدم لنا طرقاً وأساليب جديدة للتصميم والتشييد تستحضر التحديات البيئية والاقتصادية التي ألقت بظلالها على مختلف القطاعات في هذا العصر، ويبرز من بينها تصميم مبانٍ ذاتية الأداء ومباني الطاقة الصفرية، وذلك من خلال تطبيق المباني البيئية وخاصة تلك التي تعتمد على أنظمة الطاقة الشمسية السلبية (المجهزة عند تصميم المبنى).

يتضمن البحث تسليط الضوء على دراسة التصميم الأمثل للأبنية التعليمية كنموذج عن الأبنية العامة والتي لها علاقة بترشيد الطاقة من شريحة كبيرة من المستخدمين ذوي بيئات اجتماعية مختلفة من خلال (التوجيه وشكل المبنى، وموقع الفتحات وحجمها وغيرها)، العزل الحراري ومواد البناء المستدامة، وأنظمة التدفئة والتبريد، مما يحقق جودة البيئة الداخلية، ويقلل استخدام الطاقة في المبنى ويحقق شروط الراحة لمستخدميه.

الكلمات المفتاحية:الطاقة الشمسية_ الأبنية التعليمية_ العمارة الشمسية.

* أستاذ مساعد في كلية الهندسة المعمارية_ جامعة طرطوس.

**م. طالبة دكتوراه_ قسم علوم البناء والتنفيذ_ جامعة البعث.

Employing solar energy in educational buildings

*Dr. Eng Shoaib Ibrahim ** Arch. Shaza Habash

(Received: 31 August 2020, Accepted: 7 December 2020)

Abstract:

By reviewing some global and Arab models and analyzing them according to theoretical rules and foundations, the research tries to present to us new methods and methods of design and construction that evoke the environmental and economic challenges that have cast their shadows on various sectors in this era, including the design of self-performance buildings and zero-energy buildings, through application of environmental buildings, especially those that depend on passive solar energy systems (equipped when designing the building).

The research includes shedding light on the study of the optimal design of educational buildings as a model for public buildings, which is related to energy conservation from a large segment of users with different social environments through (orientation, building shape, location and size of openings, etc.), thermal insulation, sustainable building materials, heating and cooling systems. , Which achieves the quality of the internal environment, reduces the energy use in the building and fulfills the comfort parameters for its users

Key wards: Solar Energy_ Educational Buildings_ Solar Architecture.

*Dr. Eng Shoaib Ibrahim: Assistant professor of Architecture Faculty_ Tartous University.

**: Arch. Shaza Habash: PHD student_ Department of Building Science and Implementation_ AL Baath University.

1. المقدمة:

تمثل العمارة الشمسية العمارة التي تتبنى توظيف الطاقة الشمسية كمرتكز أساسي للتصميم، مثل المباني الكفوءة الطاقة والتي توظف الطاقة الشمسية في تحقيق بيئة داخلية مريحة، مسيطر عليها، تتناسب وحدود الراحة الإنسانية من متطلبات التكييف الحراري والإنارة، لذلك لا بد من التوجه نحو هذه العمارة وتحقيق أبنية ذاتية الإمداد للطاقة مستدامة.

2. هدف البحث:

دراسة أثر تطبيقات العمارة الشمسية السلبية في رفع كفاءة الأبنية التعليمية.

3. مواد وطرق البحث:

- **استخدام الطاقة الشمسية السلبية في العمارة.**

إن مفهوم التصميم الشمسي السلبي يؤكد نهج التصميم المعماري الذي يقلل من استهلاك البناء للطاقة وذلك من خلال دمج الأجهزة التقليدية الموفرة للطاقة مع عناصر التصميم السلبي كموقع البناء، كفاءة عزل المغلف الخارجي، الكميات المناسبة من الفتحات الزجاجية للوصول إلى الإضاءة والتدفئة المناسبتين.

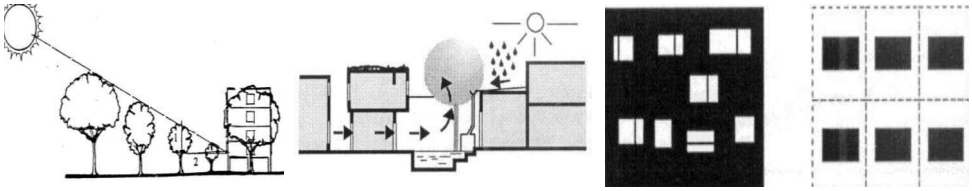
الفكرة الأساسية لتصميم الطاقة الشمسية السلبية هو السماح لضوء النهار، الحرارة والهواء بالدخول إلى المبنى فقط عند الحاجة لذلك (أي عندما تكون مفيدة). ويعتبر التصميم الشمسي السلبي مناسباً أكثر بالنسبة لأبنية جديدة أو تجديد الأبنية بشكل كبير، وذلك لأن معظم المكونات في هذا التصميم هي جزء لا يتجزأ من المبنى اعتماداً على اختيار الموقع ومجموعة من التحسينات المخطط لها وخصائص المبنى.

قبل الوصول إلى تصميم شمسي سلبي مناسب هناك خمس نقاط أساسية يجب أن تكون معروفة لدى المصمم وهي:

1. مدى قوة الشمس في الموقع في أوقات مختلفة من السنة.
2. حركة الشمس في أوقات مختلفة من السنة بالنسبة للموقع.
3. كمية الحرارة الشمسية التي سوف يحتاجها المبنى في أوقات مختلفة من السنة وذلك بهدف تحقيق الراحة الحرارية لقاطني المبنى.
4. سعة تخزين المبنى بما يتعلق في الحصول على الطاقة الشمسية في الموقع لاستخدامها عند الحاجة إليها.
5. ما هي الاحتياجات الإضافية للسيطرة على الحرارة المكتسبة من الإشعاع الشمسي المباشر أو انتقال الحرارة بالحمل وبالتوصيل في التصميم وكيفية التحكم بأدائها من خلال شكل المبنى أو تهويته.[1]

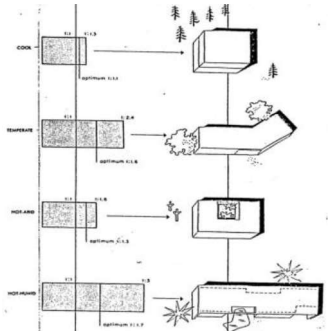
- **<u>الأسس التي يجب أن تندرج خلال تصميم البناء وفق أنظمة الطاقة الشمسية السلبية:</u>**

1. **التصميم العمراني:** زيادة إمكانيات الموقع من خلال (توجيه البناء، عناصر الموقع كالتشجير والمياه....). كما هو موضح بالشكل (1).



الشكل رقم (1): أسس استخدام الطاقة الشمسية السلبية في العمارة من الجانب العمراني، المصدر: م. دانييل. ك. رايف: المنازل الشمسية، ترجمة، م. سعد كيلو، 2002.

2. **شكل البناء والتصميم الداخلي:** تحديد وظائف الفراغات الداخلية تبعاً لاتجاهاتها بالنسبة لأشعة الشمس وذلك بهدف التقليل من استخدام التدفئة والتكييف بالإضافة إلى الإضاءة الطبيعية. كما في الشكل (2).[6]

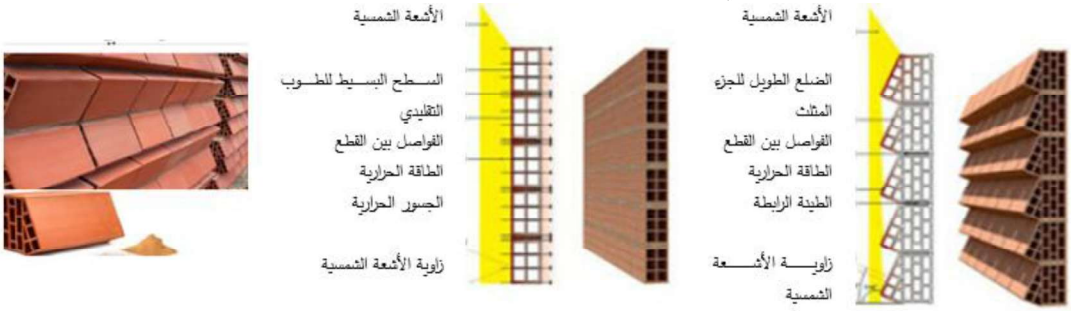


الشكل (2) اشكال المباني حسب محاور امتدادها،

المصدر: م. دانييل. ك. رايف: المنازل الشمسية، ترجمة، م. سعد كيلو، 2002.

3. **الكتلة الحرارية:** (اختيار مواد البناء المناسبة والصديقة للبيئة).
4. **الحماية الحرارية (العزل الحراري):** توفير مستويات مناسبة من العزل الحراري والحد الأدنى من تسرب الهواء.

مثال على ذلك تم ابتكار نوع مستحدث من القرميد ذاتي التبريد، يشتت الحرارة للحفاظ على المبنى بارد، وهو عبارة عن قطع قرميد ذات مقطع غير منتظم يسمح بمرور التيارات الهوائية عبر القطع لتخفيف كمية الحرارة التي يكتسبها المبنى، من أهم ميزاته: يستخدم الطين كمواد خام، شكله غير متناظر مكون من مستطيل ومثلث غير منتظم يحمي المبنى من أشعة الشمس، حيث يصنع وفق مبدأ القرميد التقليدي مع تطوير في تصميم المقطع ويستخدم في المغلفات المعمارية والواجهات يوضح الشكل (3) توضعه في الواجهات وشكل مقطعه.[5]



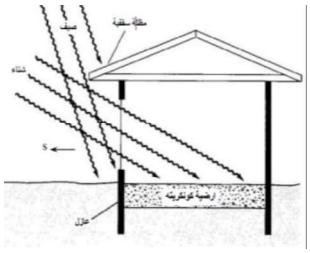
الشكل رقم (3): القرميد ذاتي التبريد، ومقطعه غير المتناظر.

المصدر: http://www.Sustainablebuildings.com/

5. **الفتحات الزجاجية:** نقل الحرارة والضوء والهواء بين المساحة الداخلية والبيئة الخارجية من خلال تحديد مواقع الفتحات الزجاجية واتجاهاتها وأبعادها.
6. **التسخين الشمسي السلبي بواسطة الزجاج وتصميم الكاسرات الشمسية المناسبة.**
7. **استخدام تقنيات الطاقة الشمسية السلبية في المبنى:** كي يتفاعل المبنى مع معطيات البيئة إيجابياً من خلال المواصفات التي يتمتع بها والناتجة من التصميم نفسه.
8. **التبريد السلبي مع التهوية الطبيعية:** ويعتمد على تبادل الهواء من خلال الوسائل الطبيعية مما يساعد على تحسين أداء الطاقة في المبنى.[1]

- **منظومات التدفئة السلبية:**

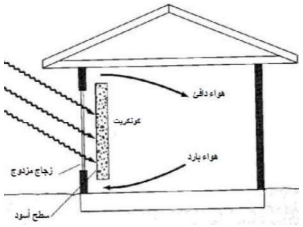
المواصـفات الرئيسـة المطلوبة للأنظمة السـلبية هي: توفر عزل حراري جيد ووجود نوافذ في الجانب الجنوبي من المبنى، بالإضافة إلى وجود مواد خزن للطاقة الفائضة، ويمكن تقسيم منظومات التدفئة السلبية إلى ثلاثة أنواع هي:



1- **منظومات الكسب المباشر:** فيها تستخدم النوافذ على الجانب الجنوبي للسماح بدخول الأشعة الشمسية، وتوضع مواد الخزن الحراري كالكونكريت والحجر والطابوق داخل الفراغ لامتصاص الأشعة الشمسية، كما أن جعل الأرضية من الحصى أو الكونكريت هو أحد الأمثلة لهذه الأنظمة، كما في الشكل (4).[12]

الشكل رقم (4): منظومة تدفئة سلبية تستخدم النوافذ لإمرار الأشعة الشمسية والكونكريت لخزن الطاقة، المصدر:

Roaf Sue, Fuentes Manuel, Thomas Stephanie; Eco house; third edition, 2007.



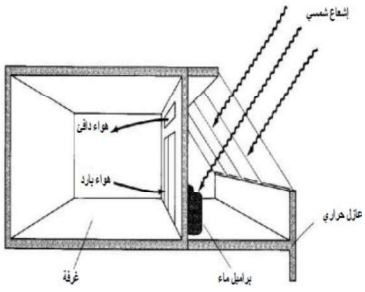
2- **منظومات الكسب غير المباشر:** يتم فيها جمع وخزن الطاقة الشمسية في جزء من المبنى، ويسـتخدم التبادل الحراري الطبيعي بواسـطة التوصـيل والحمل في توزيع الحرارة إلى بقية المبنى، ومثال جيد لهذه المنظومات هو جدار ترومب (Trombe Wall) كما في الشكل (5).

الشكل رقم (5): منظومة الكسب غير المباشر_ جدار ترومب، المصدر:

Roaf Sue, Fuentes Manuel, Thomas Stephanie; Eco house; third edition, 2007.

الجدار المائي المخزن للطاقة (Water trompe wall): وهذه الطريقة تشـبه جدار ترومب ولكنها تسـتخدم جالونات اسـطوانية مملوءة بالماء بدلاً من الجدار المصـمت، حيث يتميز الماء بأن طاقة تخزينه الحرارية أعلى بكثير من الجدار الخرسـاني أو الطوب أو الحجر، كما أن الماء يقوم بتوزيع الحرارة مباشـرة إلى الفراغ. كما في الشكل (6).

الشكل رقم (6): منظومة الكسب غير المباشر_ الجدار المائي المخزن للطاقة، المصدر: Roaf Sue, Fuentes Manuel, Thomas Stephanie; Eco house; third edition, 2007.



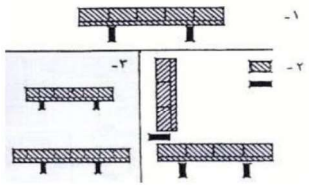
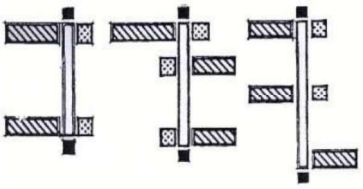
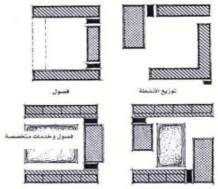
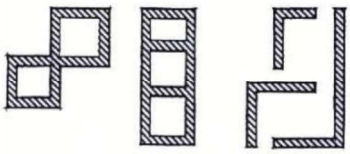
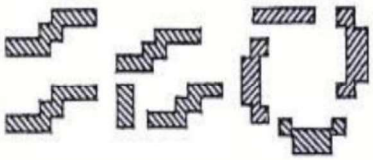
3- **منظومات البيوت الزجاجية الملاصقة للمبنى:** المبينة في الشكل (7): يمكن اسـتخدامها لأغراض الزراعة والتدفئة في آن واحد، وتقوم بنقل الحرارة المحبوسـة في البيت الزجاجي إلى داخل فراغ المبنى، وإن خزن الحرارة والعزل الجيد لأرضية البيت الزجاجي وجوانبه هما من المتطلبات المهمة في هذه المنظومات. [12]

الشكل رقم (7): منظومة الكسب الحراري بالبيوت الزجاجية، المصدر:

Roaf Sue, Fuentes Manuel, Thomas Stephanie; Eco house; third edition, 2007.

- **الأنماط التصميمية للأبنية التعليمية:** بشكل عام تقسم إلى ستة نماذج أساسية وفيما يلي استعراض لها:

الجدول رقم (1): الأنماط التصميمية للأبنية التعليمية

1. النمط الشريطي.	2. النمط الإصبعي.	3. النمط ذو الفناء الواحد.
		
4. النمط ذو الأفنية المتعددة.	5. النمط ذو الوحدات المتكررة.	6. النمط المتضام.
		

- **الطاقة الشمسية وتقنياتها في كفاءة المبنى.**

لقد تعددت الطرق المقترحة للاستفادة من الطاقة الشمسية مثل استخدام المرايا العاكسة لتجميع ضوء الشمس، أو ابتكار طرق لتجميع حرارة الشمس وامتصاصها، أو تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية وغيرها من الاستخدامات. ومن أهم التطبيقات الخاصة بالخلايا الشمسية التطبيق الخاص بموضوع (العلاقة التكاملية بين المباني والخلايا الشمسية) أي ربط الخلايا الشمسية مع التشكيل المعماري للمبنى، وتشير عبارة النظم الشمسية المتكاملة مع المبنى إلى أنها تبنى وتقام مع المبنى، وذلك يحدث بالتعاون ما بين هندسة العمارة والهندسة المدنية وتصميم النظم الشمسية.[7]

- **<u>العلاقة التكاملية بين المباني والخلايا الشمسية</u>:** يتم تركيب وتكامل الخلايا الشمسية بالمبنى عن طريق اثنين من أجزائه، والذي يتضح من خلالهما التشكيل الناتج من الخلايا على غلاف المبنى والمتمثلان في الأسقف والجدران.

وهناك أيضاً العديد من الطرق لتركيب الخلايا على الأسقف والواجهات سواء على الأسقف المستوية أو المنحدرة أو الواجهات بأنواعها، وتنقسم طرق التركيب في كل نوع من أنواع الأسقف والواجهات حسب زاوية التركيب والإنشاء إلى طبقات مغلقة وطبقات مفتوحة باتجاه واحد وطبقات مفتوحة باتجاهين وذلك بالنسبة للأسقف المستوية، أما بالنسبة للأسقف المنحدرة فتنقسم طرق التركيب للخلايا فيها إلى خلايا مركبة على الأسقف الأردوازية* وخلايا مركبة على أسقف قرميدية وأسقف مفرودة باتساع، وخلايا مركبة فوق طبقات، وبالنسبة للواجهات فهناك واجهات مغلقة وأخرى مفتوحة.[8]

<u>وتتأثر العلاقة التكاملية بين المنظومات الشمسية والشكل المعماري بكل مما يأتي:</u>

- مواقع تركيب المنظومات الشمسية.
- المستويات الشكلية للتكامل بين المنظومات الشمسية والنتاج المعماري.
- التعدد الوظيفي للمنظومات الشمسية كمواد إنهاء خارجية في الشكل المعماري.

يعتمد موقع ومساحة المنظومات الشمسية المستخدمة في الأبنية على شكل وتوجيه غلاف المبنى، ويفضل ألا تكون هذه الأسطح مظللة، بصورة عامة هناك خمسة مواقع رئيسة في المبنى من الممكن أن تتكامل معها المنظومات الشمسية وهي:

1. الأسطح الأفقية. 2. الأسطح المائلة. 3. الأسطح المنحنية. 4. واجهات المباني. 5. التفاصيل المعمارية.

*الأردواز: حجر جبلي وهو صخر صفائحي كألواح منتظمة تستخدم لتغطية أسقف المنازل في أوربا.

- **الأسطح الأفقية:**

أولاً: الوحدات الشمسية المائلة المصممة للأسطح الأفقية: هي عبارة عن ألواح مائلة بزاوية ثابتة، تثبت على هياكل حاملة وتثبت الهياكل بدورها على الأسطح، كما هو موضح بالشكل (8):

الشكل رقم (8): الوحدات الشمسية المائلة المصممة للأسطح الأفقية، المصدر: (2010, Siguldo, Latvio)

ثانياً: الوحدات الشمسية العازلة للحرارة ذات الوضع الأفقي: تمتاز بعض أنواع الألواح الشمسية باحتوائها على مواد خاصة للعزل الحراري تكون من ضمن الوحدة الشمسية فهي تساعد على زيادة العزل الحراري للمبنى بسبب المادة العازلة التي تحويها، كما هو موضح بالشكل (9).

أسلاك توصيل التيار _____

تطبيق اللواح الشمسية _____

طبقة عازلة للحرارة _____

طبقة عازلة للمياه _____

الشكل رقم (9): الوحدات الشمسية العازلة للحرارة ذات الوضع الأفقي، المصدر (الجادري وسليم، 2010)

ثالثاً: وحدات شمسية تستعمل كإضاءة سقفية طبيعية: تستخدم لتغطية الفراغات الكبيرة بالأسطح الأفقية أو الأسطح المسننة. عند استخدام الأسطح المسننة يتم وضع الألواح الشمسية بالتوجه الذي يستقبل أكبر كمية ممكنة من الطاقة الشمسية وغالباً ما يكون التوجه الجنوبي بينما تفتح الجهة الشمالية لاستقبال الإضاءة الطبيعية، كما في الشكل (10).

الشكل رقم (10): السطح المسننة وتكاملها مع الخلايا الشمسية، المصدر: (2010, Siguldo, Latvio)

أما عند استخدام الأسطح الأفقية فيتم استخدام الألواح الشمسية الشفافة أو النصف شفافة للسماح بدخول الإضاءة النهارية، كما هو موضح بالشكل (11).[4]

الشكل رقم (11): استخدام الخلايا الشمسية كأسطح شفافة، المصدر: (2010, Siguldo, Latvio)

- **الأسطح المائلة:**

أولاً: إضافة الوحدات الشمسية إلى السطح المائل بهيئة وحدات تعوض عن مواد الإنهاء الأصلية للأسطح: الوحدات الشمسية المستخدمة في هذا النوع لها صفات مواد الإنهاء الاعتيادية من تحمل للظروف الجوية والعزل الصوتي ومقاومة المياه بالإضافة إلى توليدها للطاقة وتكون الجهة الخلفية للوحدات الشمسية هي سقف الفضاء الداخلي، تكون هذه الألواح خفيفة الوزن، ومن الممكن أن تكون من النوع نصف الشفاف، أو أن تكون معتمة (Opaque) وتحتاج الوحدات الشمسية أحياناً إلى عملية تهوية الأسطح الداخلية لتقليل درجة الحرارة المحيطة بها، قبل إضافة الوحدات تتم إضافة مقاطع من

الحديد أو الألمنيوم لتشكل الشبكة التي سيتم تثبيتها عليها، أما التوصيلات الكهربائية فتكون مخفية ضمن المقاطع الهيكلية الحاملة للوحدات الشمسية، كما هو موضح بالشكل (12).

الشكل رقم (12): الخلايا الشمسية بديل عن مواد الإنهاء التقليدية في الأسطح المائلة،

المصدر: (Sinaps, Donker, 2013)

ثانياً: إضافة الوحدات الشمسية للأسطح المائلة فوق مواد الإنهاء الخارجية: يتم تثبيت الوحدات الشمسية المعتمة على مواد الإنهاء التي هي سقف للفراغ الداخلي وبهذا تكون الأساس الذي ستستند عليه الوحدات، كما هو موضح بالشكل (13).

الشكل رقم (13): الخلايا الشمسية فوق مواد الإنهاء التقليدية في الأسطح المائلة، المصدر: (Sinaps, Donker, 2013)

ثالثاً: إضافة الوحدات الشمسية ضمن مواد الإنهاء التقليدية للسطح: الحقول المهمة للنظام التكاملي BIPV وهي عبارة عن قطع صغيرة الحجم PV Shingles تكون على نوعين: إما وحدات شمسية صغيرة يتم تثبيتها مع مواد الإنهاء الخارجية أو تكون مصنعة من ضمن الوحدة الواحدة أي مع مادة الإنهاء التقليدية. أو وحدات مقوّاة Fiber Reinforced Plates كما هو في الشكل (14). [12]

الشكل رقم (14): الخلايا الشمسية بدل مواد الإنهاء التقليدية في الأسطح المائلة،

المصدر: (Sinaps, Donker, 2013)

- **الأسطح المنحنية:**

أولاً: تطبيقات الوحدات الشمسية الرقيقة (Thin film): هو نوع من الوحدات الشمسية يتصف بمرونته وقابليته للطي، كما من الممكن أن يحل محل مواد الإنهاء الخارجية التقليدية وهو خفيف الوزن، عازل جيد للماء، كما هو في الشكل (15).

الشكل رقم (15): الخلايا الشمسية الرقيقة والمرنة واستخدامها في الأسطح المنحنية،

المصدر: (Sinaps, Donker, 2013)

ثانياً: السطح المقوسة بالوحدات التقليدية: من الممكن أن يتم تصميم الأسطح المقوسة باستخدام الوحدات الشمسية التقليدية بترتيبها بشكل مقوس، كما في الشكل (16).

الشكل رقم (16): الخلايا الشمسية الرقيقة والمرنة واستخدامها في الأسطح المنحنية، المصدر: (Wesoff, 2011)

- **واجهات المباني:** تكون الألواح الشمسية المتكاملة مع واجهات الأبنية واضحة بصورة أكبر من أنواع التكامل الأخرى، يمكن استغلال مساحات كبيرة من هذه الواجهات لاستثمارها في توليد الطاقة عندما تكون ضمن التوجيه الصحيح.[3]

أولاً: الجدران الستائرية (Curtain wall): ومن الممكن تضمينها بأنواع مختلفة من الألواح مثل استخدام الوحدات الشمسية المزججة أو المؤطرة أو غير المؤطرة ويتم استخدام مواد ربط (حشوات) ما بين الفراغات لإغلاق الفجوات، ويمكن أن تكون شفافة أو معتمة كما في الشكل (17).

الشكل رقم (17): بعض مقاطع وطرق تركيب الخلايا الشمسية في الجدران الستائرية، المصدر: (Krawietz, 2011)

ثانياً: الجدران العمودية ذات الإكساء الخارجي: تغطي الألواح الشمسية واجهة المبنى بأكملها أو جزء منها وأحيانا تكون طبقة ثانية على طبقة أولى داخلية تحتوي على مواد عازلة ويراعى فيها استخدام مواد مانعة لتسرب المياه لمنع حدوث التكاثف، وينبغي أن تكون هذه الطبقة محكمة السد والفراغات الهوائية فيها مغلقة، كما في الشكل (18).

الشكل رقم (18): جدران عمودية كطبقة فوق الطبقة الداخلية، المصدر: (Krawietz, 2011)

ثالثاً: واجهات بجدران مائلة: إما أن يكون الجدار مائل هو جدار ستائري مضاف، أو أن يكون جدار المبنى نفسه مائل وتثبت عليه الوحدات الشمسية كإكساء خارجي، كما في الشكل (19).

الشكل رقم (19): واجهات خلايا شمسية بجدران مائلة، المصدر: (Krawietz, 2011)

رابعاً: الجدران ذات الأشكال المنحنية: من الممكن توظيف الوحدات الشمسية لتشكيل واجهات ذات أشكال منحنية، كما هو موضح بالشكل (20).

الشكل رقم (20): جدران خلايا شمسية ذات أشكال منحنية، المصدر: (Krawietz, 2011)

خامساً: واجهات متنوعة باتجاهات ومساحات مختلفة: في الأبنية ذات الواجهات الواسعة والنوافذ الكبيرة يمكن تغطيتها بألواح شمسية، ولكن تبقى بعض النوافذ دون تغطية لعدم توضعها بالاتجاه المناسب للاستفادة منها، مما يتطلب التغيير في التشكيل وتصميم المبنى، للوصول إلى مبنى يلبي احتياجات الاستفادة من الطاقة ولكنه لا يتماشى مع الطابع العام، كما في الشكل (21).

الشكل رقم (21): جدران خلايا شمسية ذات أشكال تتماشى مع الأسطح المعرضة لأشعة الشمس،
المصدر: (Krawietz, 2011)

- **التفاصيل المعمارية:** تعد إحدى الطرق الفعالة في تكامل الوحدات الشمسية مع الشكل المعماري للمبنى، وهي أن تحل محل عناصر التظليل أو استخدامها كعناصر نوافذ أساسية أو كإضافات مثل الدرابزين الحماية، موضحة كما يلي:

أولاً: كاسرات الشمس الثابتة والمتحركة: هي عناصر معمارية بهيئة ألواح أو شرائح طولية مدمجة، تثبت خارج النافذة، وتكون باتجاهين أفقي لصد الإشعاع عالي الزاوية وعمودي لصد الإشعاع منخفض الزاوية، ومن الممكن أن تثبت الوحدات الشمسية عليها أو أن تحل محلها، كما هو موضح بالشكل (22).

الشكل رقم (22): نماذج لمانعات الشمس، المصدر: (Krawietz, 2011)

ثانياً: نوافذ خلايا شمسية: وفيها يتم تركيب الخلايا الشمسية بدل الزجاج التقليدي في نوافذ الألمنيوم، وتكون شفافة وبألوان جميلة ومختلفة وتعطي ظلال وإضاءات مميزة داخل الفراغ الداخلي. وفي بعض الأبنية استخدمت الخلايا نوافذ للمبنى، من خلال تشكيل النوافذ على شكل ألواح زجاجية ضمنها الخلايا الشمسية بحيث تترك فراغات لدخول الضوء والاستفادة من الخلايا في الوقت نفسه، يوضح الشكل (23) أشكال هذه النوافذ.

الشكل رقم (23): شبابيك خلايا شمسية، المصدر: (Krawietz, 2011)

ثالثاً: استخدامها كدرابزين البلكونات والتراسات:

وفيها يتم تركيب الدرابزين ويكون المكون الأساسي فيه الخلايا الشمسية كبديل عن مواد الدرابزين التقليدية ويعطي شكل جديد وحديث، كما في الشكل (24).

الشكل رقم (24): خلايا شمسية كدرابزين البلكونات والتراسات،
المصدر: (Krawietz, 2011)

- **استراتيجيات العمارة الشمسية:** تشمل الاستراتيجيات التصميمية للعمارة الشمسية تصميم المبنى لتحقيق الراحة الحرارية من تدفئة وتبريد إلى جانب توظيف الضوء الطبيعي ضمن نظم إنارة المبنى لتتجسد بـــ: نظم التجنب الحراري والنظم الذاتية في التدفئة والتبريد والإضاءة. حددت استراتيجيات تصميم العمارة

الشمسية ضمن بنيتها الثابتة إلى عدد من الاستراتيجيات الخاصة التي تتفرع عن الاستراتيجيات العامة والتي تصنف إلى:

- استراتيجيات التجنب الحراري (Heating Avoidance) والتي تتضمن عدداً من الاستراتيجيات الخاصة:
- استراتيجيات التوجيه (Orientation Strategies): تمثل الاستراتيجية الأولى في عملية تصميم العمارة الشمسية إذ أن التغير في التوجيه يسبب اختلاف كمية وزاوية الأشعة الشمسية الساقطة على أوجه المبنى، مما يؤثر على أدائها الحراري بشكل كبير، إذ أن التوجيه الجنوبي للمبنى يكسب السطح أكبر كمية اشعاع خلال الفترات التي تكون فيها درجة الحرارة تحت المعدل شتاءً وأقل كمية خلال الفترات التي ترتفع فيها درجة الحرارة فوق المعدل صيفاً مما يجعله التوجيه المثالي، مع وجود مناورة تصميمية تعطي مرونة أكثر للتوجيه المثالي بزاوية 22,5° جنوب _ جنوبي شرقي مع نسبة سماح تصل إلى 22,5° جنوب شرق _ جنوب غرب.
- استراتيجيات التظليل (Shading Strategies): التي تمثل مفتاحاً لتحقيق الراحة الحرارية الداخلية طبيعياً وجزءً أساسياً من استراتيجية التجنب الحراري وفق التظليل العام للمبنى، وتظليل الفتحات.
- استراتيجيات الإضاءة الطبيعية (Sun lighting Strategies): تصنف اعتماداً على محور توزيع الفراغات نحو مصدر الأشعة لتحدد استراتيجيتين أساسيتين: تنظيم الفراغات على المستوى الأفقي_ وتنظيم الفراغات ضمن المستوى العمودي.
- استراتيجيات العزل الحراري (Heating insulation Strategies): استخدام العوازل الحرارية والتي هي مواد بسعة حرارية منخفضة وذات ممانعة حرارية عالية يمكن بإضافتها تقليل السريان الحراري عبر قشرة المبنى.
- استراتيجيات اختيار الألوان (Color Strategies): يؤثر اختيار لون السطوح الخارجية على معامل الانعكاس والامتصاص.
- استراتيجيات السيطرة على مصادر الحرارة الداخلية (Heating resources zoning Strategies): تنتج بعض الفراغات نسب عالية من الحرارة كالمطابخ والغرف الميكانيكية التي تضم مصدراً حرارياً لذا فإنها تدفأ وتبرد وتهوى بشكل منفصل عن الفراغات المجاورة.
- استراتيجيات التشجير (Greening Strategies): تظليل ذو أهمية خاصة على مستوى تصميم الفراغات الخارجية يتجسد بالبيئة المحيطة، كالأبنية المجاورة والأشجار التي تحدث تظليل متجدد ومستمر.

1. استراتيجيات النظم الذاتية (Passive system): وهو النظام الذي يجمع ويخزن ويعيد توزيع الطاقة الشمسية من دون استخدام مراوح أو مضخات أو أي نظم مراقبة معقدة من أجل حفظ الطاقة وتهيئة الراحة بأبعاد وإزالة الحرارة الشمسية الغير مرغوب بها بواسطة الطرق المدمجة في المبنى وعناصره الرئيسية العمودية والأفقية، وتتضمن:

- استراتيجيات التبريد الذاتي: تتضمن عدد من الاستراتيجيات الخاصة من التبريد بالتهوية، الإشعاع، التبريد التبخيري، التبريد الأرضي واستراتيجية إزالة الرطوبة بالتجفيف.
- استراتيجيات التدفئة الذاتية: تتضمن عدد من الاستراتيجيات الخاصة من استراتيجيات التدفئة بالكسب المباشر، استراتيجيات التدفئة بالكسب غير المباشر ونظم العزل التي تتضمن استخدام الأفنية والفراغات الصيفية والشتوية بالاعتماد على مبدأ الهجرة بين الفراغات.
- **دراسة أمثلة لبعض الأبنية التعليمية وفق معيار LEED:** ستتم دراسة الأمثلة المختارة من خلال الجوانب الآتية:

1. المقترحات التصميمية التي تعتمد على (الموقع المستدام: التوجيه، شكل المبنى، الفتحات، مواد البناء والعزل). وكفاءة استخدام المياه والإنارة الطبيعية (التعامل مع مياه الأمطار، الاستفادة من عناصر تنسيق الموقع).

2. استراتيجيات تصميم العمارة الشمسية لتحقيق الراحة الحرارية من تدفئة وتبريد.

A. كلية بورتلاند المجتمعية (PCC):

مقدمة (تعريف بالكلية): وهي أكبر مؤسسة للتعليم العالي في ولاية أوريغون، تخدم المقيمين في خمس مقاطعات.

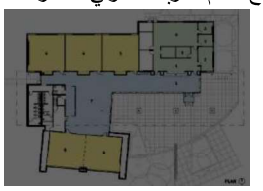
المقترحات التصميمية التي تعتمد على (الموقع المستدام: التوجيه، تأثير شكل المبنى، الفتحات، مواد البناء والعزل).[16]

شكل وتكوين الكتلة: يمتد التصميم على طول المحور الشرقي الغربي، ويزيد من تعرض المبنى الشمالي والجنوبي إلى أقصى حد، يحمي التداخل العميق على الجانب الجنوبي من المبنى الفتحات من التوهج مع توفير المساحات الخارجية التي يمكن استخدامها حتى خلال فصل الشتاء الرطب.

تصميم الفتحات: يجمع تصميم الإضاءة النهارية ذي التكلفة المعقولة بين المناور المشتركة والبلاط السقفي الصوتي في نظام السقف المنحدر الفريد لكافة الفصول الدراسية والمكاتب المفتوحة مع ضوء النهار المنتشر – مما يلغي الحاجة إلى المصابيح الكهربائية خلال اليوم.

الموقع العام: الربط الطرقي– ممرات المشاة– الفناء الخارجي وتوزع الكتل

أكوام التهوية_ مظلة السقف_ مواد البناء والتشطيبات.



مسقط أفقي للطابق الأرضي

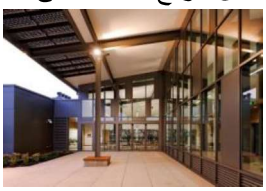
مسقط أفقي للطابق المتكرر

الانارة السقفية

الواجهة الشمالية

الشكل رقم(25): المخططات المعمارية لكلية بورتلاند، المصدر: https://www.aiatopten.org

عناصر التظليل: لتخفيف احتباس الحرارة المرتبط بالطرق ومواقف السيارات، مجموعة متنوعة من أشجار الظل الكبيرة، تحيط بالطريق الجديد وشريطها المتوسط المستمر ومواقف السيارات. بالإضافة إلى المظلة الكهروضوئية، ولتظليل الفتحات تم تمديد السقف ليعمل بشكل كاسرات أفقية تقلل من الوهج الساقط على الفتحات، كما تم تزويده بالخلايا الكهروضوئية.



الشكل رقم (26): المظلة الكهروضوئية في كلية بورتلاند، المصدر: (https://www.aiatopten.org).

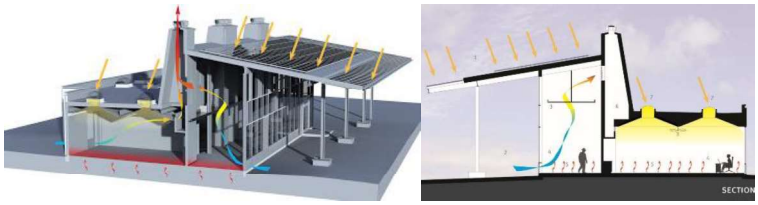
تطبيقات تقنية الخلايا الشمسية والكهروضوئية في تحقيق وظيفة الفراغ المعماري من ترشيد استهلاك الطاقة وتأمين الإنارة والتهوية الطبيعية للمبنى.

التهوية الطبيعية: تعمل توربينات التهوية الدورانية على كل كومة على سحب الهواء النقي عبر كوات على طول محيط المبنى وإطلاق هواء ساخن من خلال قممها.

الإنارة الطبيعية: تقع غالبية الفصول الدراسية والمساحات المكتبية في الجانب الشمالي من المبنى، مما يسمح للمساحات بأن تضيء في ضوء النهار مع ضوء الشمال المنتشر.

الشكل رقم (27): توربينات التهوية الدورانية في كلية بورتلاند، المصدر: (https://www.aiatopten.org).

تطبيقات الطاقات المتجددة: صمم السقف الهائل ليضم مصفوفات الخلايا الكهربائية الضوئية لإنتاج الطاقة الكهربائية وتوزيعها إلى المبنى بناء على الطلب.[16]



الشكل رقم (28): رسم توضيحي لألية عمل تطبيقات الطاقة الشمسية، المصدر: (https://www.aiatopten.org).

كفاءة استخدام المياه: يوجد في المدينة منطقة مياه مستصلحة تابعة للبلدية موجودة بالفعل والتي يمكن أن تعطي ثقة كلية المجتمع في أنه سيتم بناؤها لهم.

استراتيجيات تصميم العمارة الشمسية لتحقيق الراحة الحرارية من تدفئة وتبريد:

الجدول (2) استراتيجيات التبريد الذاتي في كلية بورتلاند المجتمعية، المصدر[عمل الباحث]

استراتيجيات التبريد الذاتي		
التبريد بالتهوية	تصميم مسارات تهوية أفقية	توضع الكتل في الجزء الشمالي من الحرم الجامعي بشكل يخلق فناء خارجي يوفر مسارات تهوية طبيعية.
	تصميم مسارات تهوية عمودية	من خلال الاستفادة من مناخ Pacific Northwest، يشتمل المبنى على تهوية طبيعية وتبريد سلبي يتم التعبير عنه بواسطة أكوام التهوية التي تنظم العمود الفقري الدوراني. تعمل توربينات التهوية الدورانية على كل كومة على سحب الهواء النقي عبر كوات على طول محيط المبنى وإطلاق هواء ساخن من خلال قممها.
توربينات التهوية الدورانية		
تساعد مجموعة مختارة من شجيرات الخضرة المنخفضة المتاخمة لكوات التهوية الطبيعية في المبنى على التبريد السلبي.		

الجدول (3) استراتيجيات التدفئة الذاتية في كلية بورتلاند المجتمعية، المصدر[عمل الباحث]

استراتيجيات التدفئة الذاتية		
استراتيجيات التدفئة بالكسب المباشر	توظيف كتلة المبنى للكسب الحراري	شملت الاستراتيجيات السلبية تعظيم التعرض للمبنى من الشمال والجنوب، والتراكب العميقة، وضوء النهار، والتهوية الطبيعية، والأرضيات الخرسانية للكتلة الحرارية، ومظروف عازل للغاية باستخدام الألواح العازلة الهيكلية.
		توفر مراوح السقف انخفاضاً بمقدار 3 درجات في درجة الحرارة المحيطة من خلال حركة الهواء أثناء استخدام جزء صغير من طاقة وحدات تكييف الهواء.
		الواجهة الجنوبية للكسب الحراري– مراوح السقف لخفض درجة الحرارة
استراتيجيات التدفئة بالكسب غير	اختيار مواد الموقع العام (أرصفة– عناصر تخطيطية)	التقليل من استخدام المواد، مثل استخدام لوح الخرسانة الهيكلي وجدران القص الخرسانية كالتشطيبات النهائية ووضع البلوط الأبيض المعتمد من FSC بشكل استراتيجي حيث سيكون له التأثير الأكبر، عند إدخالات الفصول الدراسية ومكتب الاستقبال.
		صور توضيحية لمواد التشطيبات

B. جامعة الملك عبد الله للعلوم والتكنولوجيا KAUST:

مقدمة (تعريف بالجامعة): هي جامعة بحثية دولية جديدة على مستوى الدراسات العليا، أنشئت لدفع الابتكار في العلوم والتكنولوجيا ودعم البحوث ذات المستوى العالمي في مجالات مثل الطاقة والبيئة. يعد الحرم الجامعي الجديد لجامعة الملك عبد الله الأول من نوعه في المملكة العربية السعودية وهو أول مشروع معتمد من ليد وأكبر مشروع في العالم ليد.

استخدم الفريق خمس استراتيجيات تستعير من الثقافة والتقاليد لحل القضايا البيئية:

1. مبني على غرار المدن العربية التقليدية، حيث يتم ضغط الحرم الجامعي قدر الإمكان لتقليل كمية الغلاف الخارجي المعرض للشمس وتقليل مسافات المشي في الهواء الطلق.
2. كما هو موجود في السوق التقليدية، أو السوق العربية، تتميز الطرق المتداولة المظللة والمبردة بشكل سلبي بالضوء الشديد والمساحات الاجتماعية.
3. ألهمت الخيمة العربية المصممين لإنشاء نظام ضخم للسقف يمتد عبر كتل البناء لمنع أشعة الشمس على واجهات المباني وفي العمود الفقري للمشاة، لتسهيل التهوية الطبيعية وتصفية الضوء. الألواح الشمسية التي تغطي السطح تلتقط أشعة الشمس.
4. أثرت استراتيجيات التهوية الفعالة في المنزل العربي التقليدي في تصميم أبراج الرياح التي تعمل بالطاقة الشمسية والتي تسخر الطاقة من الشمس والرياح لتوليد تدفق الهواء بشكل سلبي في ممرات المشاة.

5. على غرار فكرة "المشربية"، يقوم الحرم الجامعي بتظليل النوافذ والمناور باستخدام نظام تظليل متكامل يعمل على تقليل الأحمال الحرارية مع خلق إضاءة مبهرة. [15]

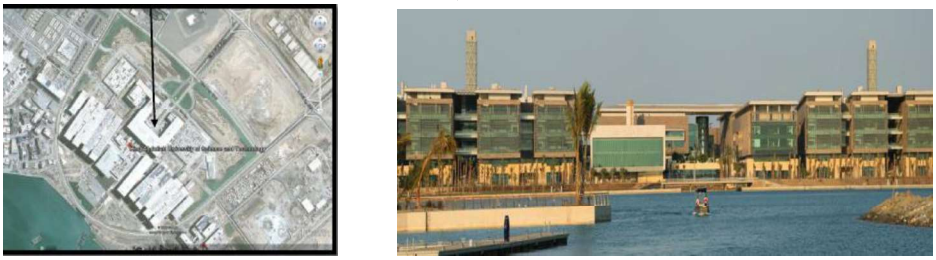
موقع عام للحرم الجامعي _ لقطة للجامعة والسقف الضخم المغطى بالخلايا الشمسية

الشكل رقم (29): المخططات المعمارية لجامعة الملك عبد الله، المصدر: (https://www.aiatopten.org).

المقترحات التصميمية التي تعتمد على (الموقع المستدام: التوجيه، تأثير شكل المبنى، الفتحات، مواد البناء والعزل).

شكل وتكوين الكتلة: نسيج متضام لجميع مباني الحرم الجامعي على غرار المدينة العربية القديمة، يغطيها سقف هائل، وجميع المباني تتخذ استطالة وفق المحور شرق _ غرب ليأخذ المبنى شكل أصابع.

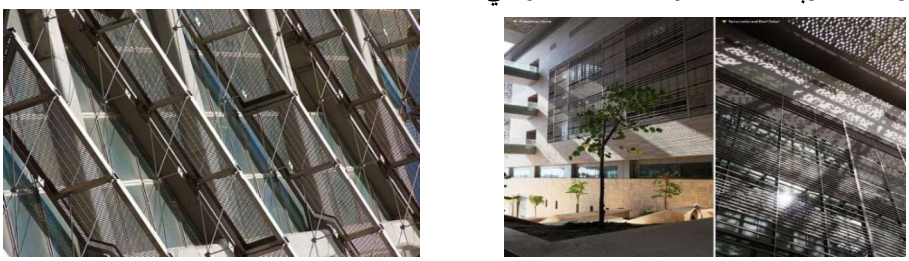
تصميم الفتحات: فتحات واسعة على الواجهات الجنوبية للمباني، وتظليل النوافذ والمناور على غرار المشربية.



الشكل رقم (30): مخطط الموقع العام لحرم الجامعة والواجهة الجنوبية، المصدر:

(https://www.aiatopten.org).

عناصر التظليل: السقف الضخم الذي يغطي مجمل المباني يقلل من كسب أشعة الشمس على الواجهات، الكاسرات على النوافذ منها الثابت والمتحرك، إضافة على مواد البناء في الغلاف الخارجي ذات الملمس الخشن والنتوءات التي تخلق ظلال ونور على الواجهات، وبعض الأشجار الدائمة الخضرة في الأفنية الداخلية.

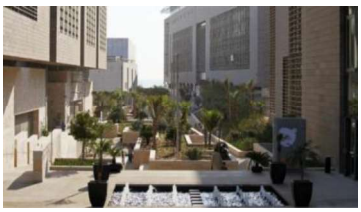


الشكل رقم (31): الفتحات وعناصر التظليل على الواجهات، المصدر: (https://www.aiatopten.org).

تطبيقات تقنية الخلايا الشمسية والكهروضوئية في تحقيق وظيفة الفراغ المعماري من ترشيد استهلاك الطاقة وتأمين الإنارة والتهوية الطبيعية للمبنى.

التهوية الطبيعية: الأفنية الداخلية بين المباني تحقق تهوية مناسبة، وتصميم أبراج الرياح التي تعمل بالطاقة الشمسية والتي تسخر الطاقة من الشمس والرياح لتوليد تدفق الهواء بشكل سلبي في ممرات المشاة.

الإنارة الطبيعية: تستخدم مباني الحرم الجامعي النتوءات البارزة، وفتحات التهوية الخارجية الثابتة، وفتحات التهوية الخارجية المتحركة، والساحات الداخلية ذات الأسقف الزجاجية، والمناور، ونظم التظليل الميكانيكية.[15]



الشكل رقم (32): الأفنية الداخلية في حرم الجامعة وأبراج الرياح، المصدر: https://www.aiatopten.org).

تطبيقات الطاقات المتجددة: على سقف المبنى تم تركيب مصفوفات ضخمة من الخلايا الحرارية الشمسية لتوفير الماء الساخن لكافة المباني في الحرم الجامعي، ومصفوفات الخلايا الكهربائية الضوئية لإنتاج الطاقة الكهربائية وتوزيعها إلى مباني الحرم الجامعي بناء على الطلب.

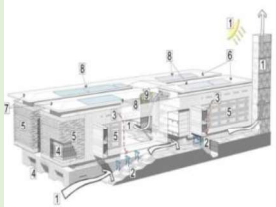
الشكل رقم (33): تركيب مصفوفات الخلايا الشمسية على سقف الجامعة، المصدر: https://www.aiatopten.org).

كفاءة استخدام المياه: تجمع مياه الأمطار وتخزن للاستخدام، ولحماية النظم الإيكولوجية الطبيعية والمرافق الترفيهية تستخدم جامعة الملك عبد الله أساليب تنسيق الحدائق والمساحات الخضراء التي لا تتطلب مياهاً إضافية للري.

حيث يتم توجيه جميع المياه الرمادية والسوداء في الحرم الجامعي إلى محطة معالجة المياه وهناك يتم معالجتها وفقاً لمعايير التعليم العالي وتستخدم للري. يتم معالجة مياه الأمطار الزائدة قبل مغادرة الموقع والتقاط التلوث (الرواسب)، مما يحمي النظم الإيكولوجية المجاورة.

استراتيجيات تصميم العمارة الشمسية لتحقيق الراحة الحرارية من تدفئة وتبريد:

الجدول رقم (4): استراتيجيات التبريد الذاتي في جامعة الملك عبد الله، المصدر[عمل الباحث]

استراتيجيات التبريد الذاتي		
	تصميم مسارات تهوية أفقية	الاستفادة من رياح البحر الأحمر السائدة لتكون بمثابة آلية تبريد
		توظيف الأفنية الوسطية لخلق اضطراب هوائي
		ويحسن تصميم MEP معدلات التهوية فهو يتضمن مراقبة تسليم الهواء لإزالة الملوثات الضارة وثاني أكسيد الكربون ضمن نظام توزيع الهواء الموجود تحت الأرضية مما يجعل إزالة الملوثات أكثر كفاءة.
	تصميم مسارات تهوية عمودية	توظيف ملاقط الرياح: يضم الحرم الجامعي تحفتين فنيتين من الأبراج الشمسية يحدثان فرق ضغط سلبي وذلك باستخدام أشعة الشمس والرياح السائدة من الشمال الغربي والرياح التي تهب على موقع الحرم من البحر الأحمر لإحداث تيار هوائي لطيف مستمر على طول الأفنية المظللة.
	الأبراج الشمسية	 يتألف غلاف البرج من طبقتين خارجيتين من الحوائط الساترة الزجاجية، وهذه الطبقة الخارجية شفافة تماماً تسمح بمرور أكبر قدر ممكن من الطاقة الشمسية خلالها، في حين تتألف الطبقة الداخلية من زجاج مظلل يتصف بدرجة امتصاص عالية يجمع الطاقة الشمسية لزيادة حجم الهواء الساخن داخل البرج إلى أقصى حد، وعندما يرتفع الهواء الساخن خارجاً من أعلى البرج يحل محله الهواء البارد من الفناء.

الجدول رقم (5): استراتيجيات التدفئة الذاتية في جامعة الملك عبد الله، المصدر[عمل الباحث]		
استراتيجيات التدفئة الذاتية		
استراتيجيات التدفئة بالكسب المباشر	توظيف كتلة المبنى للكسب الحراري	ضغط الحرم الجامعي قدر الإمكان لتقليل كمية الغلاف الخارجي المعرض للشمس
		استراتيجية المناور والأفنية الداخلية المسقوفة بالزجاج
		توزيع الفراغات على المحور العمودي للمبنى
استراتيجيات التدفئة بالكسب غير المباشر	اختيار مواد الموقع العام (أرصفة- عناصر تخطيطية)	اختيار مواد الرصف ذات الألوان الفاتحة لتعكس زيادة الحرارة الشمسية وتقليل درجة الحرارة الكلية
		استخدام الألوان الداكنة لتقليل معامل الانعكاس لسطح قشرة المبنى
		تصميم المواد الخارجية الأساسية لخلق تباين بين الأضواء والظلال، والاستفادة من حركة الشمس.
		تم تطوير Terra-cotta والحجر والزجاج والفولاذ المقاوم للصدأ في مجموعة مشتركة من استراتيجيات تغليف المباني المطبقة على معظم المساحات.
	صور توضيحية لمواد التشطيبات	

4. النتائج والمناقشة:

نتائج الدراسة التحليلية لبعض الأبنية التعليمية وفق عناصر محددة ومناقشتها يمكن أن نخلص إلى النتائج التالية:

وفق التصميم العمراني: الموقع العام وعناصره:

كتلة المبنى وتوجيهها: الامتداد على المحور شرق _ غرب حقق الاستفادة الأكبر من التهوية والإنارة الطبيعيتين والتقليل من الكسب الحراري وتوفير المكان المناسب والأمثل لإضافة الخلايا الشمسية.

عناصر الموقع: ساعدت عناصر الموقع من أشجار ومظلات في التقليل من الكسب الحراري المباشر، سواء في محاور المشاة الرئيسة، أو على الواجهات المعرضة للأشعة الشمسية المباشرة.

- كفاءة استخدام المياه: الاستفادة بشكل تام من مياه الأمطار وفق استراتيجيات تحقق إدارة المياه واستصلاحها.

شكل البناء والتصميم الداخلي:

_ في بعض الأبنية التعليمية تم الاستفادة من الأسس التصميمية للأبنية التعليمية والتي تعتمد على تشكيل المباني على شكل أصابع لتحقيق وظيفة توجيه للحركة أو تأمين المنظومات الخدمية اللازمة للتهوية والانارة.

_ ساهمت الأفنية الداخلية في الأبنية التعليمية في تحقيق البيئة الجيدة والراحة الحرارية المناسبة لمستخدمي المبنى، بالإضافة إلى تحقيق مناطق ضغط مختلفة مما ساعد في خلق تيارات هوائية تستخدم في تهوية الفراغات التعليمية والقاعات والغرف الإدارية....

- تم ادخال تقنيات الطاقة الشمسية على المبنى بشكل ينسجم مع تكوينه وشكله المعماري، وذلك لتوفير الراحة الحرارية للمستخدمين، وتأمين المياه الساخنة وتوليد الطاقة الكهربائية المطلوبة لتشغيل بعض الأجهزة الكهربائية.

الكتلة الحرارية والعزل الحراري:

- تنوعت مواد البناء والإكساء المستخدمة في الأبنية التعليمية وكان معظمها من المواد المحلية أو المعاد تدويرها وقد تعددت ألوانها وملمسها وسهولة التركيب والتشكيل، وهذا له تأثير كبير على الشكل المعماري للمبنى الذي يتطلب مواد تتسم بالديناميكية والمرونة والحداثة تنعكس على طابع المبنى المعماري وجماليته.
- ساعدت التقنيات الجديدة لمواد البناء الحديثة من تحقيق العزل الحراري وإمكانية إضافة بعض التقنيات إليها بحيث تصبح مولدة للطاقة.
- وظفت الفتحات للتهوية والإنارة مما أعطى الفتحات أهمية وظيفية حيث جاءت أغلبها على كامل الواجهات الجنوبية ومنها فتحات سقفية.
- من الدراسة التحليلية فإن لوسائل التظليل والكاسرات والبروزات تأثير كبير على الشكل المعماري للأبنية التعليمية المدروسة وتأثيراً وظيفياً يتجلى في التظليل وحماية المبنى من وهج الشمس، ومكان مناسب لإضافة الخلايا الشمسية للاستفادة القصوى من الطاقة الشمسية.

5. الاستنتاجات والتوصيات:

- من أجل تحقيق الكفاءة التصميمية للمنظومة الوظيفية للأبنية التعليمية يجب مراعاة مايلي:

1. كفاءة الاستجابة لاحتياجات المستخدمين فيما يتعلق بالملاءمة والراحة والمتطلبات الشخصية من خلال:
الهدوء والطمأنينة وحضور الطبيعة في أغلب الفضاءات العامة لإزالة الضغط النفسي، استعمال الانهاءات ذات المواد الطبيعة أينما أمكن، الوضوحية الفضائية والتنظيمية، استغلال الهيكل الانشائي والضوء الذي يعبر عن نمط الاستخدام والتدرج الوظيفي.
2. كفاءة التصميم للتوسع والمرونة من خلال:
القابلية للتوسع جزئيا وكليا وفي أكثر من اتجاه واحد_ للتصميم بحيث يكون التغيير في الفضاءات والفعاليات الرئيسية لا يؤثر على العملية التشغيلية الكلية للمبنى.
3. الكفاءة التصميمية للمنظومة الطاقية للأبنية التعليمية من خلال:
كفاءة استخدام المياه بالشكل الملائم _ كفاءة ترشيد استهلاك الطاقة وإمكانية توفيرها من الموارد المتجددة كالشمس والرياح، من خلال الأبراج الريحية والخلايا الكهروضوئية.

- المرونة التي يتمتع بها الإنشاء الهيكلي تساعد في تشكيل واجهات واسعة مما يساهم في تحقيق الإنارة الطبيعية، وخلق وابداع أفكار معمارية خلاقة.
- يوصى باستخدام مواد البناء المحلية المستدامة، وإدخال التقنيات عليها للاستفادة من الطاقات المتجددة وتحقيق المبنى للطاقة ذاتياً، وبالتالي إمكانية تكييفه ليلائم حاجة مستخدميه وتحقيق انسجام المبنى مع البيئة المحيطة.

6. المراجع:

1. د. البصـــير، ناديا_ إعادة توظيف الأبنية الحديثة كمفهوم بيئي في المنطقة العربية، المؤتمر الدولي الأول حول التراث والعولمة والبيئة المحلية، الرياض 29 نوفمبر_ 1 ديسمبر 2004.
2. الجادري إحسـان علي و د. يونس محمود محمد سـليم، 2010 (أثر اسـتخدام تقنية المنظومات الشـمسـية كمواد إنهاء خارجية في النتاج المعماري).
3. الدارجي، رنا مجيد ياسـين، 2006 رسـالة ماجسـتير قسـم الهندسـة كلية الهندسـة جامعة بغداد (اسـتراتيجيات العمارة الشمسية ضمن البنية الثابتة والديناميكية لها).
4. القصراوي، سماح مصطفى محمد، 2005 كلية الدراسات العليا، الجامعة الأردنية (دور التكنولوجيا المتقدمة في تشكيل العمارة المعاصرة).
5. الموسوعة العربية _ ابن عثيمين_ مجموعة مؤلفين_ المجلد /13/_ 2005.
6. م. دانييل. ك. رايف: المنازل الشمسية، ترجمة، م. سعد كيلو، 2002.
7. عبد الرزاق نجيل كمال، سـرى فوزي عباس، 2008 (تشـكيل واجهات المحميات السـكنية وأثره في المشـهد الحضـري لمدينة بغداد)، مجلة الهندسة والتكنولوجيا_ المجلد /26/، العدد /5/.
8. ميخائيل داليا سـمير، 2005 رسـالة ماجسـتير، كلية الهندسـة_ جامعة القاهرة بعنوان (تأثير التطور التكنولوجي على التشكيل المعماري).
9. Krawietz Prof. Dr. Arch. Silke A., 2011 (Sustainable Buildings and BIPV an international perspective).
10. Prasad Deo, Mark snow, “Designing with solar power”, Images publishing, (2005).
11. Randall Thomas, “Photovoltaics and Architecture” London GBR: Routledge, (2001).
12. Roaf Sue, Fuentes Manuel, Thomas Stephanie; Eco house; third edition, 2007.
13. Robert Farrington, 1993 (Building_ integrated Photovoltaics).
14. (https://www.aiatopten.org).
15. http://www.Sustainablebuildings.com/