



Towards Developing the Performance of the External Envelope to Activate Solar Energy Systems Case Study of Designing Sun Breakers for Government Standard Schools in Cairo Region

نحو تطوير أداء الغلاف الخارجي لتفعيل نظم الطاقة الشمسية دراسة حالة تصميم كاسرات نوافذ المدارس النمطية الحكومية بإقليم القاهرة الكبرى

Received 27 November 2024; Revised 10 January 2025; Accepted 10 January 2025

Abstract: Depending on renewable energy in buildings has become an urgent necessity that represents an important part of relying on operating buildings using renewable energy technologies. This importance has increased with the global energy crisis. There has been a development in the systems and technologies of the renewable energy use in buildings, accompanied by several techniques to integrate it with the building elements, but it was not sufficient to reach the stage of complete integration between the building elements and the renewable energy elements, especially in the architectural elements of the building envelope. The problem of the research discusses the separation between the architectural elements of the building envelope and the technical systems for the solar energy technologies, as it appeared more clearly with the use of these technologies in buildings, which may cause an obstacle that is not architecturally accepted by the users.

The research aims to study the environmental impact of the integration of photovoltaic units with the openings of the building's outer envelope through a proposed methodology for the design steps of integrated sun breakers, applying it to one of the widely typical building models represented by the prototype models for schools in the Educational Buildings Authority. The research concluded the importance of amending the prototype design standards for school buildings for external windows, taking into consideration the differences between the climatic regions in Egypt, as it appeared that the energy-generating sun breakers have a positive impact on the natural lighting levels, thermal comfort and energy consumption, as the sun breakers contributed to increasing the natural lighting area from 62.50% to approximately 89% as a percentage of the internal area of the classroom, in addition to improving the level of thermal comfort by 48%, while achieving savings in energy consumption by about 14% by activating its role as a renewable energy generating element, which indicates the importance of the study, especially in the prototype buildings to achieve a positive impact throughout the Arab Republic of Egypt.

محمد عبد الفتاح أحمد العيسوي¹

Mohammed Abdel-
Fattah Ahmed El-essawy

Key Words : Energy generating sun breaker, Integrated Solar Energy Technologies, Integrated Window Solar Breaker, Energy Generating Envelope, Integrated Renewable Energy

¹ أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية – كلية الهندسة جامعة الفيوم (messawy@fayoum.edu.eg)

الكلمات الرئيسية

الكاسرة الشمسية المولدة للطاقة، تقنيات الطاقة الشمسية التكاملية، الكاسرة الشمسية التكاملية للنافذة، التصميم التكاملي للغلاف الخارجي المولد للطاقة، تقنيات الطاقة المتجددة التكاملية معماریا

الملخص: الاعتماد على الطاقات المتجددة أصبح من الضرورة الملحة للاعتماد على تشغيل المباني باستخدام تقنياتها، وقد ازدادت هذه الأهمية مع أزمة الطاقة العالمية، وقد حدث تطور ملحوظ في نظم توليد الطاقات المتجددة في المباني مصاحبا تقنيات لدمجها مع عناصر المبنى إلا أنها لم تكن بالقدر الكافي للوصول للتكامل التام بين عناصر المبنى وعناصر مولدات الطاقة، خاصة في عناصر الغلاف الخارجي بحيث تساهم في توليد الطاقة من خلال منظور معماري متكامل. وتكمن إشكالية البحث في الانفصال ما بين عناصر الغلاف الخارجي ونظم استغلال الطاقة الشمسية، حيث ظهرت واضحة مع التوسع في استخدام تلك التقنيات، مما قد يسبب عائقا لعدم القبول المعماري لمستخدمي المباني. وتهدف الدراسة إلى دراسة الأثر البيئي لتكامل وحدات الخلايا الفوتو فولتية مع فتحات الغلاف الخارجي للمبنى من خلال منهجية مقترحة للخطوات التصميمية للكاسرات الشمسية التكاملية المولدة للطاقة، وذلك تطبيقا على أحد نماذج المباني النمطية واسعة التطبيق والمتمثلة في النماذج الموحدة للمدارس. وقد توصلت الدراسة إلى أهمية تعديل المعايير التصميمية لنماذج المدارس للنوافذ مع الوضع في الاعتبار الاختلافات بين الأقاليم المناخية، حيث ظهر للكاسرات الشمسية المولدة للطاقة الأثر الإيجابي على مستويات الإضاءة الطبيعية والراحة الحرارية والطاقة المستهلكة للفراغ، حيث ساهمت في زيادة مسطح الإضاءة الطبيعية من ٦٢,٥٠ % إلى ما يقارب ٨٩ % كنسبة من المسطح الداخلي للفصل، إضافة إلى تحسين مستوى الراحة الحرارية بنسبة ٤٨ % بعد استخدام الكاسرات، مع تحقيق الوفرة في الطاقة المستهلكة بنسبة حوالي ١٤ % من خلال تفعيل دورها كعنصر مولد للطاقة المتجددة على مستوى الفصل الواحد، الأمر الذي يظهر أهمية التطبيق خاصة في نماذج المباني النمطية واسعة الانتشار لتحقيق الأثر الإيجابي على نطاق كافة أنحاء جمهورية مصر العربية.

١. المقدمة

يعتبر الغلاف الخارجي للمباني العنصر الرئيسي في استقبال وحدات الخلايا الفوتو فولتية التي يتم توظيفها لاستغلال مصادر الطاقة المتجددة، ويعتبر السقف هو العنصر الأكبر لوحدات الخلايا لتعرضه بصورة ملائمة للإشعاع الشمسي المطلوب، إلا أن باقي عناصر الغلاف تم توظيفها أيضا بصورة أقل انتشارا لتكريب وحدات الخلايا. وبالرغم من ظهور عدة مقترحات لدمج الخلايا الفوتو فولتية مع العناصر المعمارية للمبنى في تصميم معماري متكامل، إلا أنه مازالت الفجوة واضحة بين عناصر الغلاف ووحدات الخلايا وعدم تكاملهم من خلال التصميم المعماري في العديد من المباني، كما يتضح من الشكل رقم (١) نموذجين اهتم أحدهما بتحقيق التكامل والدمج المطلوب بخلاف النموذج الآخر، يضاف إلى ذلك عدم وجود منهجية واضحة يمكن تطبيقها لتحقيق التصميم التكاملي المدمج للمبنى ووحدات الخلايا، خاصة وأنه يمكن الاستفادة منها في تحقيق التكامل المطلوب على نطاق واسع من خلال تطبيقه على نماذج المباني النمطية المكررة بصورة منتشرة بأحاء جمهورية مصر العربية طبقا لمدى انتشار وتكرار النموذج النمطي، مثل النماذج النمطية المكررة للمباني السكنية والمدارس الحكومية وغيرها. وتتلخص أهمية حدود في الآتي:

١,١ إشكالية البحث

تتمثل إشكالية الدراسة البحثية في الانفصال الواضح بين التصميم المعماري وتصميم أماكن ووحدات الخلايا الفوتو فولتية، في الوقت الذي يتم فيه التوسع في الاعتماد على مصادر الطاقات المتجددة للمباني، وتتفاقم تلك المشكلة في وضع التصميم الموحد للمباني النمطية على مستوى الجمهورية بدون الوضع في الاعتبار الدمج التصميمي لوحدات الخلايا الفوتو فولتية مع النموذج التصميمي الموحد.

٢,١ هدف البحث

يهدف البحث إلى وضع منهجية مقترحة للتصميم المدمج لخلايا الوحدات الفوتو فولتية للنوافذ الخارجية لأحد نماذج المباني النمطية للمدارس طبقاً للتصميم المعتمد من هيئة الأبنية التعليمية، تطبيقاً على الإقليم المناخي للقاهرة الكبرى.

٣,١ أهمية الدراسة البحثية

تكمن أهمية الدراسة في إمكانية تطبيقها الفعلي على نطاق واسع متزامناً مع كون النموذج أحد النماذج النمطية الموحدة على مستوى الجمهورية، إضافة إلى مراعاة التصميم البيئي الواعي لكل منطقة مناخية لنفس النموذج الموحد.

٤,١ حدود الدراسة البحثية

تم اتخاذ أحد النماذج النمطية المعتمدة الموحدة للمدارس التعليمية طبقاً للهيئة العامة للأبنية التعليمية، مع إجراء الدراسة التطبيقية لأحد الفصول المخالفة للتوجيه المناخي المفضل طبقاً للمعايير المعتمدة وذلك للإقليم المناخي للقاهرة الكبرى.

٥,١ منهجية البحث

يعتمد البحث في منهجه على عدة خطوات متتالية لتحقيق الهدف الرئيسي، يمكن ذكرها في النقاط التالية:

- رصد وتوثيق أحد النماذج الموحدة للمدرسة المعتمدة من هيئة الأبنية التعليمية.
- وضع المحددات المكانية للدراسة التطبيقية، وتشمل: تحديد الإقليم المناخي بالقاهرة الكبرى، والاتجاه البيئي للنوافذ.
- رصد الوضع القائم لمستويات الإضاءة والراحة الحرارية والطاقة المستهلكة للفصل باستخدام برنامج المحاكاة Design Builder.

- وضع التصميم الديناميكي للكاسرات الشمسية المدمجة، مع تحديد المتغيرات التصميمية لها.
- دراسة تأثير المتغيرات لتحديد التصميم الأنسب لدمج الخلايا الفوتو فولتية مع الكاسرات الشمسية للنوافذ.



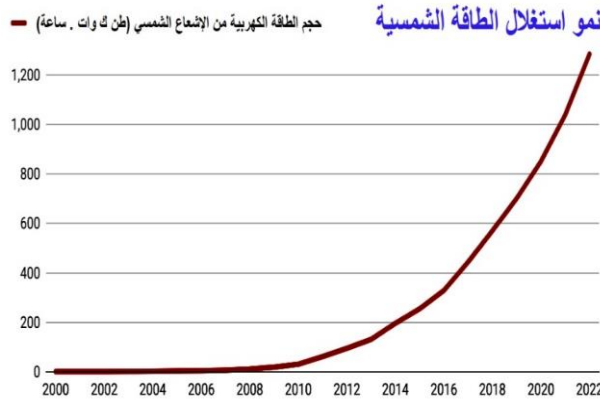
شكل ١: نموذج "تكامل / عدم تكامل" تصميم الخلايا الفوتو فولتية مع العناصر المعمارية للمبنى، المصدر: الباحث.

٢. تقنيات الخلايا الفوتو فولتية

تبلغ كفاءة الخلايا الفوتو فولتية النموذجية حوالي ١٥٪ مما يعني أنها تستطيع تحويل حوالي ١٥٪ من الطاقة الشمسية إلى كهرباء خلال عمرها الافتراضي الذي يبلغ حوالي ٢٠ عاماً، وقد تم اكتشاف التأثير المادي لتحويل الضوء إلى كهرباء في النصف الأول من القرن التاسع عشر عام ١٨٣٩م على يد العالم الفرنسي ألكسندر إدموند بيكريل، وساهم العديد من العلماء فيما بعد من خلال أبحاثهم مثل تشارلز فرييتس ونيكولا تيسلا على تطوير ذلك المبدأ في عام ١٩٠٤م [١].

وقد حدث تطور تكنولوجي ملموس في صناعة أشباه الموصلات في الفترة من أواخر الخمسينات وحتى الستينات من القرن العشرين وتم استخدام الخلايا الشمسية حصرياً للتزود بالكهرباء، وتم احراز تقدم ملموس في هذا المجال خلال الفترة من ١٩٨٥ : ١٩٩٠م حيث تم إنتاج منظومات الكهرباء الشمسية على نطاق تجاري من خلال الشركات المتخصصة واستخدمت

في تزويد المباني بالكهرباء في الاستخدامات المتعددة التي تلزمها قدرات محدودة مثل الإنارة وضخ المياه وخلافه، وتشير الإحصائيات إلى أنه منذ عام ١٩٨٥م وحتى ٢٠١١م قد حدث انخفاض في تكاليف أنظمة الخلايا الشمسية بنسبة ٧٠٪، كما حدثت زيادة مطردة في صناعة الوحدات الفوتو فولتية بمعدل زيادة ٤٠٪ سنويا في السنوات السابقة كما يتضح تلك الزيادة من الشكل رقم (٢) [٢].



شكل ٢: نمو استغلال الطاقة الكهربائية المولدة من الإشعاع الشمسي، المصدر: Scheer, 2002.

وقد تم في الآونة الأخيرة إضافة تطورات وإمكانيات جديدة للخلايا الفوتو فولتية ساهمت بشكل ملحوظ في تطوير هيتها - شكلها - كفاءتها - فكرة عملها، وما زال انتشار هذه الأنواع المستجدة محدود بالمقارنة بالأنواع التقليدية، ويوضح جدول رقم (١) أهم هذه الأنواع والمميزات التقنية لكل منها.

جدول ١: التطورات التكنولوجية لوحدات الخلايا الفوتو فولتية [٣]

الخصائص التقنية	طراز الخلية
تزيد كفاءتها في التحويل الكهربائي عن الخلايا التقليدية بنسبة ١٨٪. وحدات تقنية فائقة الصغر مع مضاعفة كفاءة الخلية.	Dye sensitized organic الخلايا الصبغية
تم فيه عمل علاقة تكاملية بينه وبين مواد البناء للوصول لمواد فوتو فولتية محاكية للمواد الطبيعية.	Nano PV cells الخلايا الضوئية النانوية
بها عدسات متراكبة تضيق ميزة تركيز أشعة الشمس لرفع كفاءتها من ١٥ : ٣٥٪ للأشعة العمودية فقط.	Material integrated الخلايا المدمجة
أقل تكلفة من مثيلاتها، ولكنها أضعف منها.	Concentrate dots الخلايا المركزة النقطية
تتميز بالمرونة مما يمكن دمجها على عدة أسطح مثل السيارات والحقائب.	Plastic cells الخلايا البلاستيكية
امكانية تحولها إلى اللون الشفاف في الجو الغائم للاستفادة من الإضاءة الطبيعية.	Flexible cells الخلايا المرنة
تعتمد فكرة عملها على فكرة عمل البطاريات الجافة.	Intelligent cells الخلايا الذكية
تهجين ودمج عدة مواد أشباه موصلة معا في خلية واحدة تزيد من كفاءتها بنسبة أكبر من ١٨٪.	Dye based الخلايا الصبغية الجافة
عبارة عن كرات صغيرة من السليكون تتأثر بالطاقة الشمسية من جميع الاتجاهات.	Hybrid الخلايا الهجين
ذات سطح خشن يساهم في زيادة مسطح الامتصاص ورفع كفاءة الخلية لنسبة ٢٥٪.	Spherical cells الخلايا الكروية
يمكن استخدامها تشكليا مع أنواع الزجاج في واجهات المباني.	High performance خلايا الأداء المرتفع
تعمل المواد العاكسة بها على الاستفادة من الإشعاع الشمسي بشكل أكبر.	Semi-transparent الخلايا شبه الشفافة
يتم الوصول لإنتاج أكبر من خلال وضع طبقتين أو ثلاث طبقات من رقائق المواد الموصلة.	Anti-reflective الخلايا المضادة للانعكاس
مواد أخف وزنا وأكثر مرونة.	Compacted الخلايا المضغوطة
	Carbon pipes خلايا الأنابيب الكربونية

الخصائص التقنية	طراز الخلية
استخدام عدسات تجميع مترابطة كموديول كامل تحول الطاقة الشمسية إلى كهرباء بكفاءة.	الخلايا المركزة Concentrated
إضافة طبقات ضوئية مماثلة للمستخدم في أقرص Blu-Ray باستخدام تكنولوجيا النانو تؤدي إلى تحسين تدفق الضوء إلى داخل الألواح ومنها إلى البطاريات.	خلايا الطبقات الضوئية Blu-Ray cells
تتوفر كزجاج ملون مما يجعله مثاليا لأي مكان في المبنى.	الخلايا الشفافة Transparent

٣. تقنيات رفع كفاءة الخلايا الفوتو فولتية

مع التطور التقني في صناعة وأنواع الخلايا الفوتو فولتية ظهرت أيضا بعض التقنيات المصاحبة لها والتي ساهمت بدورها أيضا في رفع كفاءتها، والتي يمكن ذكرها في ثلاث نقاط رئيسية، كما تتضح من الشكل رقم (٣)، وتشمل العدسات والمركزات والمرايا العاكسة، ويمكن ذكر الأسس التقنية لهم كالتالي:

العدسات [١]: يتم استخدام عدسات مربعة بنتوءات دائرية صغيرة تساهم في تحويل أشعة الشمس إلى نقطة بؤرية مركزية وتسمى عدسات فرسنل (Fresnel Lenses) والتي تعمل على تركيز أشعة الشمس بمقدار ٥٠٠ مرة مما يساهم في إعطاء الخلية كفاءة إضافية مقدارها من ٣٠ : ٣٩٪ وأحيانا تصل إلى ٥٠٪.

المركزات [٤]: وتستخدم بمقياس كبير في الصحراء والمحطات الكبرى، حيث يتم تثبيت أكثر من ٢٠٠ مصفوفة تعمل بتقنيات متقدمة تهدف كلها لرفع الكفاءة الإجمالية وتعمل بدون متابعة يومية، ومن أهم أمثلة تلك المركزات هي مركزات أمونيكس الكبرى Amonix Mega Concentrator بكاليفورنيا [٥].

العواكس [٦]: وتقوم بدور مماثل لعمل العدسات السابق ذكرها، حيث تعمل المرايا على عكس الإشعاع الشمسي على الخلية بشكل غير مباشر بدلا من تركيزه مباشرة على الخلية، ويتضح من القياسات أن مستويات رفع كفاءة الخلايا من ١٠:١٠٠ مرة في حالة الأشعة المنعكسة عموديا، بينما تتراوح من ٢:١٠ مرات في حالة الأشعة المنعكسة غير العمودية.



العواكس

المركزات

العدسات

شكل ٣: تقنيات رفع كفاءة الخلايا الفوتو فولتية، المصدر: الباحث.

٤. التصميم المعماري التكامل للخللا الفوتو فولتية

اتجهت في الآونة الأخيرة بعض الاتجاهات لدمج الخلايا الفوتو فولتية مع عناصر المبنى بتصميم معماري متكامل، والتي تم تقسيمها إلى خمسة مستويات تشمل الموقع العام والتشكيل الكتلي والغلاف الخارجي والفتحات الخارجية والتشطيبات [٧]، ويوجد العديد من العناصر التي يمكن استغلالها كمسطحات للخللا على كافة مستويات المشروع، ويوضح الشكل رقم (٤) بعض الأمثلة التطبيقية لها ومنها على سبيل المثال:

أ. أسطح المباني الخدمية الخارجية بالمشروع، مثل غرف الأمن والكهرباء.

ب. عناصر تنسيق الموقع الثابتة، مثل أسطح البر جولات الخفيفة وتغطيات أماكن انتظار السيارات.

ت. توفير التركيبات الفنية بالمشروع بوحدات الخلايا مثل وحدات الإنارة الخارجية والعلامات والشاشات الإرشادية.
ث. عناصر المبنى الخارجية، مثل سطح المبنى والحوائط الخارجية – تغطيات المظلات الخاصة بالمبنى مثل مظلات
المدخل – تغطيات البر جولات أعلى سطح المبنى – الكاسرات الشمسية للفتحات الخارجية – التغطيات الخفيفة
للأفنية الداخلية للمبنى.

ويمكن تحقيق التصميم التكاملي للحصول على تصميم معماري متكامل مع أنظمة الخلايا الفوتو فولتية للحصول على
مبنى مولد للطاقة الكهربائية المتجددة على كافة المستويات السابق ذكرها، مع وضع بعض الاعتبارات التصميمية التي
يمكن اقتراحها في النقاط التالية:

- السماحية الإشعاعية على الخلايا بتصميم كافة العناصر المحيطة بالخلايا مثل عناصر الموقع العام وعروض
الشوارع والممرات الداخلية بين كتل المشروع.
- تعظيم الإشعاع الشمسي المنعكس على الخلايا باختيار نوعية ولون التشطيبات الخارجية المحيطة بالمبنى بلون
فاتح لعكس أكبر قدر من الإشعاع الشمسي على الخلايا الفوتو فولتية.
- التصميم الكتلي المناسب مثل التدرج في الاتجاه العمودي على اتجاه الإشعاع الشمسي لتعريض الخلايا الفوتو
فولتية لأكبر قدر من الإشعاع الشمسي.
- تصميم توجيه محور المبنى مع محور مسار الشمس لتعظيم كمية الطاقة الشمسية المكتسبة للخلايا الفوتو فولتية.
- مراعاة نسب وأبعاد المناور والأفنية الداخلية والخارجية المستغلة لوحدات الخلايا الفوتو فولتية.
- تصميم الأسقف بتوفير الأسطح المائلة باتجاه عمودي على الإشعاع الشمسي كأفضلية لتركيب الوحدات عليها بدلا
من الأسطح الأفقية لمسطحها الأكبر مقارنة بالسطح الأفقي.
- الاستفادة من المردود البيئي الإيجابي الحراري لاستخدام وحدات الخلايا، من خلال الأسطح المزدوجة والتي
يتكون السطح الخارجي لها من الخلايا الفوتو فولتية، وذلك للأسقف والحوائط الخارجية.
- مراعاة التصميم الملائم للفتحات الخارجية المعرضة بقدر أكبر للإشعاع الشمسي بتفعيل دور وحدات الخلايا
ككاسرات شمسية.
- مراعاة الرؤية الجمالية المتناسقة لتكامل عناصر المبنى مع وحدات الخلايا، مثل اختيار ألوان الخلايا المتناسقة
مع أنواع وألوان التشطيبات الخارجية، وكذلك الأخذ في الاعتبار عامل الإبهار البصري للخلايا والنتاج من
انعكاس الإشعاع الشمسي على الزجاج الواقي للخلايا من خلال اختيار موضع الخلايا بعيدا عن الرؤية أو استخدام
الخلايا المتطورة تقنيا والمانعة لانعكاس الإشعاع الشمسي.



شكل ٤: نماذج التصميم التكاملي للخلايا الفوتو فولتية مع عناصر المبنى، المصدر: الباحث.

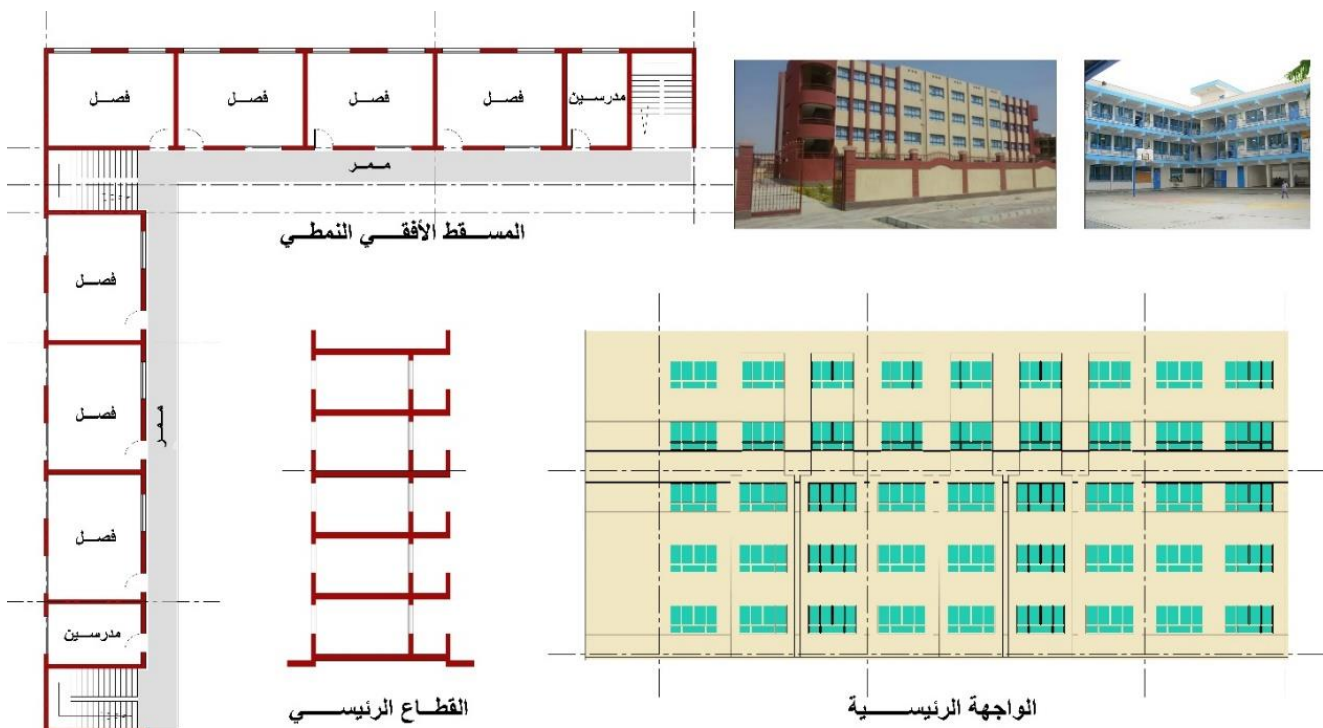
ويتناول الجزء التالي الدراسة التطبيقية لأحد نماذج التصميم التكاملي لوحدات الخلايا الفوتو فولتية، وذلك من خلال دمجها
مع التصميم المعماري للنوافذ لأحد المباني النمطية المتكررة بصورة موحدة بمصر وهي نموذج المدارس النمطية
الحكومية، بهدف دراسة الأثر الإيجابي لذلك التصميم التكاملي على الفراغ ومستخدميه.

٥. النماذج النمطية الموحدة للمدارس

قامت الهيئة العامة للأبنية التعليمية بتصميم نماذج نمطية موحدة للمدارس بجمهورية مصر العربية يتم تنفيذها في جميع أنحاء الجمهورية، ويوضح الشكل رقم (٥) التصميم المعماري لأحد النماذج النمطية للمدارس الموحدة على مستوى الجمهورية.

وقامت الهيئة بوضع مجموعة من الاشتراطات التصميمية الملزمة لتصميم المدارس النمطية لكافة العناصر التصميمية، ويمكن ذكر الاشتراطات المؤثرة على الفتحات الخارجية ومستوى الإضاءة الطبيعية بالفراغ التعليمي في النقاط التالية [٨]:

- لا يقل عرض الشارع المطل عليه مبنى المدرسة عن ٦ متر.
- الحد الأدنى للفناء الداخلي للمدرسة المطل عليه المبنى المدرسي لا يقل عن ١٠ متر.
- التوجيه العام لمبنى الفصول المسموح به هو الاتجاه الشمالي ويمكن الانحراف ٢٥° إلى الشرق أو الغرب عن اتجاه الشمال.
- في حالة استحالة تحقيق التوجيه الشمالي يمكن السماح بالتوجيهات الأخرى مع توفير تظليل كامل للفتحات بواسطة كاسرات الشمس.
- يشترط توفير مستوى ملائم من الإضاءة والتهوية لجميع الفراغات التعليمية بحيث لا تقل نسبة مسطح الشبايبك عن (١٨٪) من مساحة الفراغ وبما لا يقل عن (٥ م^٢) موزعة على جانبي الفراغ.
- لا يقل ارتفاع جلسة الشبايبك عن (١,١٠ متر).
- يفضل أن تكون الإضاءة على يسار الطلبة.
- لا تقل مسافة الارتداد عن موقع حدود المدرسة عن (٣ متر).



شكل ٥: أحد نماذج التصميم النمطي الموحد للمدارس على مستوى الجمهورية، المصدر: Central Administration for Research, 2018

من خلال الدراسة التحليلية للمعايير التصميمية السابقة، يمكن استنتاج بعض النقاط الرئيسية التي تشمل:

- أ. تم توحيد التصميم المعماري للنوافذ كمسطحات ونسب في كل المناطق المناخية المختلفة بأحاء جمهورية مصر العربية بالرغم من التأثير المباشر للعناصر البيئية لكل منطقة.
- ب. لم يتطرق لتأثير النوافذ أو تصميمها بالصورة الواعية للوصول لمستوى الإضاءة الطبيعية المناسبة.

ت. لم يتم ذكر الحماية البيئية للنوافذ سوى من خلال الكاسرات الشمسية فقط، بالرغم من وجود العديد من الوسائل التكنولوجية المتطورة للتصميم البيئي لفتحات الخارجية.

ث. لم يتم التطرق للتصميم التكنولوجي للنوافذ المعتمد على مصادر الطاقة المتجددة.

ج. تم تحديد الحد الأدنى لمسطح النوافذ كنسبة من مسطح الفصل مفترضا إمكانية وضعها في أي مكان بالحوائط الخارجية، ولم يتم مراعاة تحديد توزيعها المنتظم للحصول على التوزيع المنتظم للإضاءة الطبيعية، بالإضافة إلى عدم التطرق أيضا لاختلاف نسبة الفتحات لكل واجهة طبقا لتوجيهها المناخي.

ح. مع اختلاف توجيه الفصول والتوصية بتوفير الإطلال المناسب للفتحات الخارجية للاتجاهات خلاف الاتجاه الشمالي، إلا أنه لم يتم معالجتها في التصميم النمطي وتطابقت مع الفتحات ذات التوجيه الشمالي.

وبناء على ذلك، تهدف الخطوات التالية في وضع منهجية لأسس الخطوات التصميمية للكاسرات الشمسية للنوافذ متضمنا تكاملها مع الخلايا الفوتو فولتية، ودراسة تأثير ذلك على مستويات كلا من الإضاءة الطبيعية والراحة الحرارية والطاقة المستهلكة لمستخدمي الفراغ.

٦. الخطوات المنهجية للتصميم التكاملية للكاسرة الشمسية المولدة للطاقة

يمكن اقتراح الخطوات المنهجية للتصميم التكاملية للكاسرة الشمسية المولدة للطاقة مع النوافذ الخارجية من خلال الخطوات المتتابعة التالية والتي سيتم اجراء التطبيق الفعلي لها من خلال خطوات الدراسة البحثية وتشمل:

- تحديد الإقليم الجغرافي للمبنى
- تحديد الاتجاه البيئي للنوافذ
- رصد الوضع القائم لمستوى الإضاءة الطبيعية للفصل
- دراسة تأثير النوافذ القائمة على مستوى الراحة الحرارية للفصل
- تحديد التوصيات المبدئية المقترحة للنوافذ الخارجية
- التصميم المعماري الديناميكي لكاسرات الشمس المولدة للطاقة للنوافذ الخارجية
- دراسة النتائج التطبيقية للبدائل التصميمية للكاسرة الشمسية المولدة للطاقة

٦, ١ تحديد الإقليم الجغرافي

يجب كخطوة أولى تحديد الإقليم الجغرافي الواقع به مبنى المدرسة، وذلك للتأثير المباشر لكافة العوامل البيئية على النوافذ الخارجية للمبنى وبالتبعية الفراغ الداخلي للفصل، وسيتم تحديد الإقليم المناخي للقاهرة الكبرى كمثال لإجراء الدراسة التطبيقية بناء على العناصر المناخية الخاصة بالإقليم، مع إمكانية تحديد أي إقليم مناخي آخر لإجراء نفس الخطوات التطبيقية للدراسة.

٦, ٢ تحديد الاتجاه البيئي للنافذة

طبقا للنموذج النمطي للفصل، يشتمل الفصل على نوافذ متقابلة مما يعني بالضرورة وجود أكثر من اتجاه بيئي للنوافذ والتي يمكن تحديدها طبقا للوضع القائم الفعلي لمبنى المدرسة، ونظرا لأهمية الاتجاه الشمالي للنوافذ سيتم الدراسة على أحد النماذج المواجهة لاتجاه الشمال، وبالتالي سيتم إجراء الدراسة التصميمية للنوافذ المقابلة للاتجاه الجنوبي في الجهة الأخرى من الفصل.

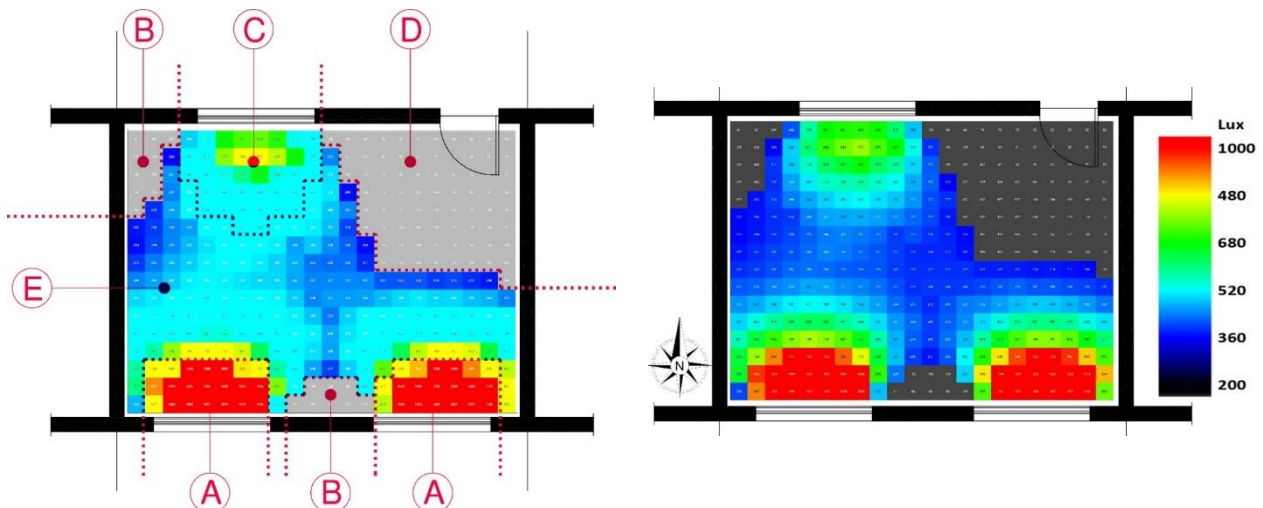
٦, ٣ رصد الوضع القائم لمستوى الإضاءة الطبيعية للفراغ

وتتم هذه الخطوة باستخدام برنامج المحاكاة Design Builder، حيث يتميز البرنامج بعدة خصائص تميزه عن البرامج المماثلة تتلخص في التالي:

- سهولة التعامل مع البرنامج والواجهة الرئيسية لإجراء المحاكاة.
- يحتوي على كافة عناصر وبيانات المناخ على مستوى كبير للمناطق المناخية المختلفة.

- تتعدد مخرجات البرنامج بصورة كافية لإجراء الدراسة التطبيقية المطلوبة، ومنها على سبيل المثال حساب الطاقة المستهلكة ومستويات الراحة الحرارية ومستويات الإضاءة الطبيعية وغيرها.
- يتميز بوجود معدل خطأ مقبول يبلغ حوالي ٣,١٧٪، مما يعني الدقة المقبولة لنتائج الدراسة التطبيقية وإمكانية الاعتماد عليها بصورة فعالة.

وقد تم إعداد نموذج الفصل الدراسي لتقييم مستوى الإضاءة الطبيعية به، من خلال الشكل رقم (٦) حيث يتضح توزيع مستوى الإضاءة الطبيعية عند مستوى سطح العمل، ومقارنتها بمستويات الإضاءة المثلى والتي تبلغ 300 Lux، تصل إلى 500 Lux لنشاط القراءة، وتبلغ 750 Lux أثناء الرسم والمهارات التدريبية [٩]، حيث يمكن تقسيمها إلى (٥) مناطق رئيسية لتوزيع الإضاءة كما يتضح من الشكل رقم (٧) والتي يوضح الجدول رقم (٢) بياناتها الرئيسية.



شكل ٦: مستوى الإضاءة الطبيعية لنموذج الفصل الدراسي للتصميم النمطي، المصدر: الباحث.

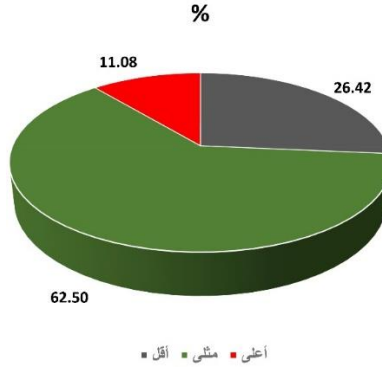
شكل ٧: توزيع مناطق الإضاءة الطبيعية بالفصل الدراسي للوضع القائم، المصدر: الباحث.

جدول ٢: بيانات توزيع الإضاءة الطبيعية للفصول الدراسية للتصميم النمطي

المنطقة	التوصيف	التقييم	النسبة المئوية لمساحة الإضاءة بالفصل %
A	المنطقة المجاورة للشباك على الواجهة الخارجية	تزداد فيها شدة الإضاءة عن القيم المثلى للفصول بنسبة تصل إلى أكثر من الضعف مما يسبب Disability / Discomfort Glare.	١١,٠٨
B	المناطق البيئية بين الشبائيك	تقل فيها شدة الإضاءة عن المستوى الملائم بقيم تصل إلى (٣٠%) من القيم المثلى للإضاءة المناسبة.	٥,١١
C	المنطقة المجاورة للشباك على الممر الداخلي	تختلف عن المنطقة (A) المحددة عند النوافذ الأخرى بسبب وجود الممر الخارجي والذي يؤدي إلى الحد من شدة الإضاءة الزائدة حيث تصل إلى أقصى حد ملائم لمستوى الإضاءة الطبيعية المطلوبة.	١٠,٢١
D	المنطقة المجاورة لباب الفصل	نتيجة عدم توفر مصدر للإضاءة الطبيعية مجاورة لتلك المنطقة تقل فيها مستوى الإضاءة عن القيم المثلى بنسبة أقل من (٦٠%)	٢١,٣١
E	المنطقة الوسطى بالفصل	تبلغ فيها الإضاءة الطبيعية للحد الأدنى المقبول للإضاءة الطبيعية الملائمة من خلال النوافذ الخارجية.	٥١,٩٩

من الجدول السابق يتضح أنه يوجد (٣) حالات لمستوى الإضاءة بالفصل، كما تتضح من الشكل رقم (٨)، والتي تشمل:

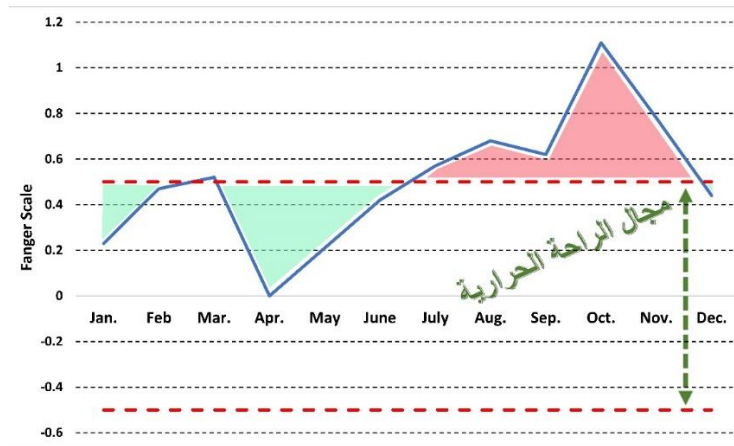
- أ. مستوى الإضاءة الطبيعي الملائم بنسبة (٦٢,٥٠٪) من مسطح الفصل.
- ب. مستوى إضاءة أعلى من الحد المسموح بنسبة (١١,٠٨٪) من مسطح الفصل.
- ت. مستوى إضاءة أقل من الحد المسموح بنسبة (٢٦,٤٢٪) من مسطح الفصل.



شكل ٨: النسب المئوية لمستويات الإضاءة الطبيعية للفصول النمطية للوضع القائم، المصدر: الباحث.

٤,٦ رصد مستوى الراحة الحرارية للوضع القائم

يتضح من الشكل رقم (٩) متوسط مقياس Fanger [١٠] للإحساس بالراحة الحرارية داخل الفصل، حيث ينتج أن مجال الراحة الحرارية يتحقق طوال العام بنسبة ٥٢,٥٠٪، بينما يقع الفراغ أعلى من مجال الراحة الحرارية بنسبة ٤٧,٥٠٪.



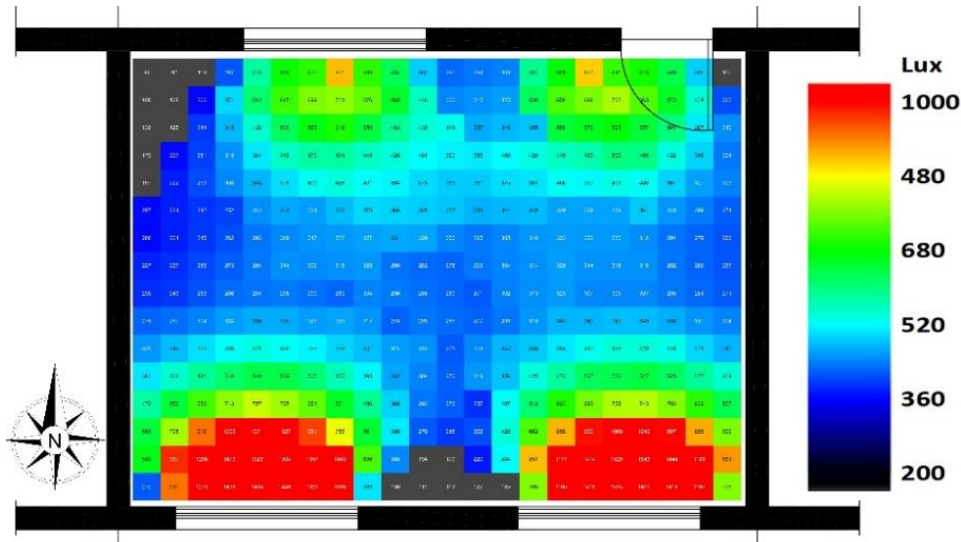
شكل ٩: مقياس Fanger لمستويات الراحة الحرارية للفصول النمطية للوضع القائم، المصدر: الباحث.

٥,٦ تحديد التوصيات المبدئية المقترحة للنوافذ الخارجية

من خلال تحليل توزيع الإضاءة الطبيعية بالفصل طبقاً للوضع القائم السابق يمكن استخلاص التوصيات المبدئية التالية:

- الحفاظ على مستوى الإضاءة الطبيعية بالمنطقة (C) و (E) السابق تحديدهما.
- توفير وزيادة شدة الإضاءة الطبيعية المناسبة للمنطقة (D) من خلال توفير مصدر إضاءة طبيعية مماثل لمصدر الإضاءة الطبيعية المجاور للمنطقة (C) وذلك من خلال نافذة مماثلة لها أو من خلال توفير المسطحات الزجاجية المناسبة بالباب بدلاً من الأبواب الخشبية.
- الحد من زيادة شدة الإضاءة للمنطقة (A) من خلال تصميم كاسرات الشمس الملائمة، بالإضافة إلى تفعيلها كمصدر للطاقة الشمسية المتجددة، كما سيتضح من خلال الخطوات التالية.

ويوضح الشكل رقم (١٠) رصد توزيع الإضاءة الطبيعية ومستوى الراحة الحرارية للوضع القائم المستجد بعد توفير مصدر الإضاءة الطبيعية بالمنطقة المجاورة للباب، حيث سيتم استكمال الدراسة التطبيقية لتصميم الكاسرات الشمسية المولدة للطاقة على ذلك النموذج المعدل.

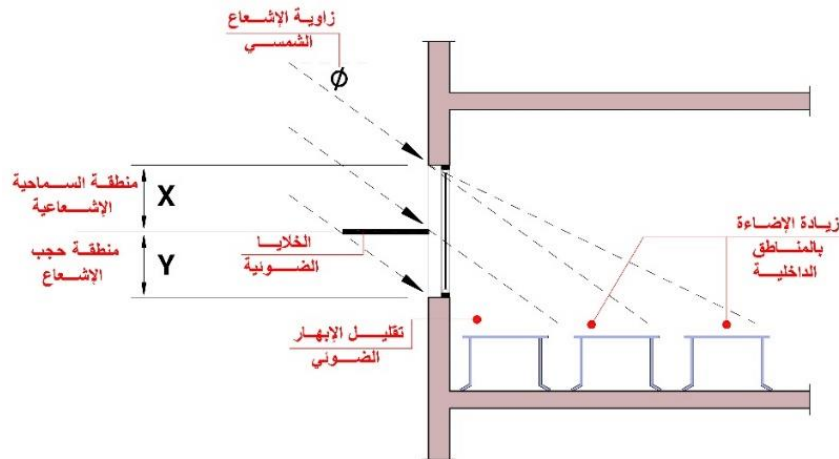


شكل ١٠: الوضع المستجد لتوزيع الإضاءة الطبيعية بعد توفير مصدر للمنطقة المجاورة لباب الفصل، المصدر: الباحث.

٦,٦ التصميم المعماري الديناميكي لكاسرات الشمس المولدة للطاقة

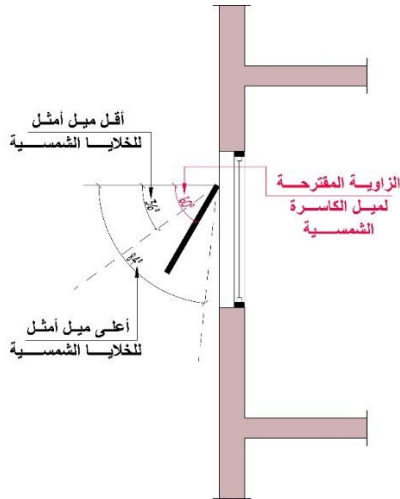
تم وضع مقترح لعدة خطوات متتالية للوصول للتصميم الأنسب للكاسرة الشمسية المولدة للطاقة، ويمكن ذكر تلك الخطوات تطبيقياً في النقاط التالية:

أولاً: تحديد نوع الكاسرة طبقاً للتوجيه، وسيتم استخدام الكاسرات الأفقية المناسبة تصميمياً للنوافذ بالحوائط الجنوبية [١١].
 ثانياً: استغلال الكاسرات كخلايا ضوئية للتصميم التكاملي لعناصر المبنى مع الخلايا الضوئية.
 ثالثاً: تحديد موقع الكاسرة بالنسبة للنوافذ، ونظراً لتدرج الإضاءة بالفصل والتي تتجاوز المعدلات الأنسب عند النوافذ مع الاحتياج لزيادة شدة الإضاءة في المناطق الداخلية، فقد تم التصميم على أساس وضع الكاسرة على بعد علوي من عتب النافذة، كما يتضح من الشكل رقم (١١) والتي تم فيها افتراض أن الكاسرة على بعد علوي من عتب النافذة بمقدار (X) والتي سميت بمنطقة السماحية الإشعاعية، ويقابلها المسافة السفلية (Y) وهي منطقة حجب الإشعاع الشمسي.



شكل ١١: التحديد المفترض لموقع الكاسرة من عتب النافذة، المصدر: الباحث.

رابعاً: تحديد زاوية ميل الكاسرة الأفقية طبقاً للزاوية المثلى المسماة بزاوية الطاقة الشمسية والتي يمكن من خلالها تحقيق الاستفادة القصوى من نظم الخلايا الضوئية، ولتحقيق ذلك يمكن الاعتماد على جهاز التعقب الشمسي الآلي كما يتضح في الشكل رقم (١٢)، إلا أن تكلفة جهاز التعقب أكثر من تكلفة استخدام الخلايا الضوئية الإضافية للتعويض كما أن الطاقة التي يحتاجها جهاز التعقب تقلل من فوائده ومميزاته [١٢]. بناء على ذلك يمكن الاعتماد على قيمة زاوية الشمس عند أعلى مستوياتها عند الظهيرة، ويوضح الجدول رقم (٣) الزاوية المثلى لميل الخلايا الشمسية [١٣] مقاسة من الاتجاه الرأسي شهرياً لتحقيق الاستفادة المثلى من النظام، حيث سيتم تحديد ميل الكاسرة كقيمة متوسطة بين أقل وأعلى قيمة ميول للكاسرات (٣٦° / ٨٤°) والتي تبلغ القيمة المتوسطة لهما ٦٠° كما يوضح الشكل رقم (١٣).



شكل ١٣: الزاوية المقترحة لميل الكاسرة الشمسية ٦٠°، المصدر: الباحث.

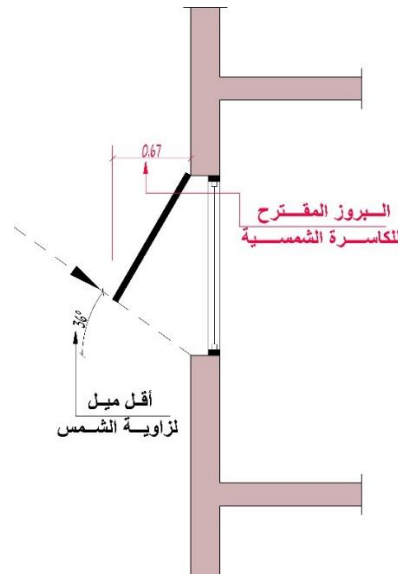
شكل ١٢: جهاز التعقب الشمسي للخلايا الفوتو فولتية، المصدر: Gevorkian, 2008.

جدول ٣: قيم الزاوية المثلى لميل الخلايا الفوتو فولتية شهريا

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو
الزاوية المثلى	٤٤	٥٢	٦٠	٦٨	٧٦	٨٤

الشهر	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
الزاوية المثلى	٧٦	٦٨	٦٠	٥٢	٤٤	٣٦

خامسا: تحديد قيمة بروز الكاسرة طبقا لقيم زاوية ميل الإشعاع الشمسي [١٤]، ونظرا لاختلاف قيم الزاوية فقد تم احتساب المتوسط الشهري للزاوية الرأسية للإشعاع الشمسي كما يتضح من الجدول رقم (٤) قيم تلك الزوايا [١٥]، ومن خلال ذلك يمكن تحديد قيمة البروز الأمثل على أساس قيمة أقل زاوية ميل شمس لتغطية كافة الأشهر الأخرى إظلالا للنافذة، مع الوضع في الاعتبار التحديد الأولي لقيمة منطقة السماحية الإشعاعية ($X = Zero$) لضمان إظلال كافي لمنطقة حجب الإشعاع الشمسي (Y) أيا كانت قيمتها، حيث يضمن ذلك بتوفير الإظلال الكامل للمنطقة (Y) عند أعلى قيمة لها مع أقل زاوية ميل للإشعاع الشمسي كما بالشكل رقم (١٤)، حيث بلغ الحد الأدنى لقيمة البروز ٦٧ سم كبعد أفقي من النافذة مع تحقيق الميل الأمثل للكاسرة كما تم تحديده بالخطوة السابقة.



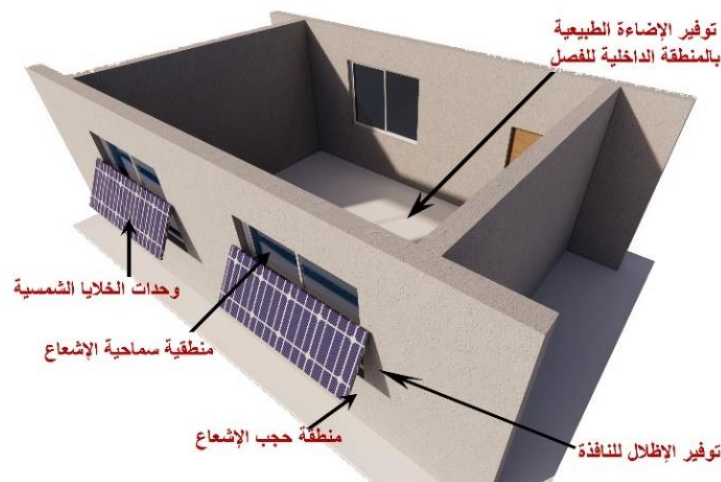
شكل ١٤: البروز المقترح للكاسرة الشمسية ٦٧ سم، المصدر: الباحث.

جدول ٤: متوسط الزاوية الرأسية للإشعاع الشمسي شهريا

الشهر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو
متوسط الزاوية الرأسية	٣٨	٤٧	٥٨	٦٩	٧٨	٨٣

الشهر	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر
متوسط الزاوية الرأسية	٨١	٧٣	٦٢	٥٠	٤١	٣٦

سادسا: تحقيق التصميم الأولي للكاسرة الشمسية ودمجها مع الخلايا الفوتو فولتية مع توفير كافة المعايير السابقة، كما يتضح من الشكل رقم (١٥)، حيث تعتمد الخطوات التالية إلى حساب قيمة كلا من منطقة السماحية الإشعاعية ومنطقة حجب الإشعاع الشمسي الأمثل لتوفير أفضل تصميم للكاسرة الشمسية من خلال دراسة مستوى الإضاءة الطبيعية، يليها دراسة تأثير ذلك على مستوى الراحة الحرارية والطاقة المستهلكة للفراغ الداخلي بعد تفعيل تأثير الخلايا الفوتو فولتية.



شكل ١٥: التصور المقترح لتصميم الكاسرات الشمسية المدمجة المولدة للطاقة، المصدر: الباحث.

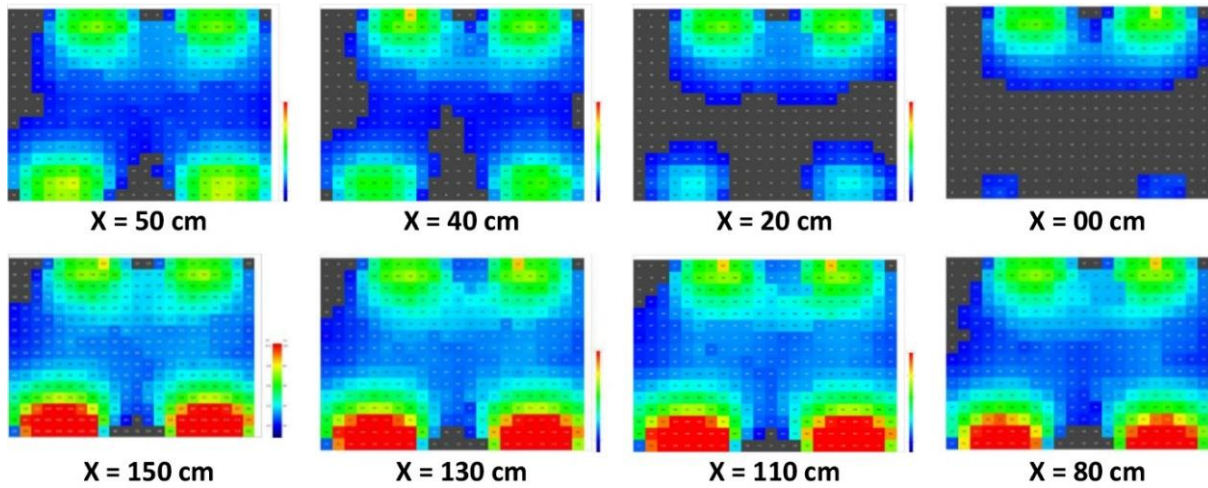
سابعا: تحديد بدائل القيم المتغيرة لكلا من مسافة السماحية الإشعاعية (X) والقيمة المناظرة لها بمنطقة حجب الإشعاع الشمسي (Y)، وقد تم اختيار قيمة مسافة نمطية ثابتة متزايدة بمقدار ١٠ سم كزيادة متتالية لبداية مسافة السماحية الإشعاعية لتبدأ قيمة (X) من ١٠ سم تصاعديا حتى تصبح ١٤٠ سم، مع قياس تأثير كل قيمة على نسب مستويات الإضاءة الطبيعية بالفراغ.

٧. النتائج التطبيقية لبداية التصميم

يتم في الجزء التالي إعداد نموذج المحاكاة مع إعداد البدائل المختلفة بتغيير مسافة السماحية الإشعاعية وقياس النتائج لكل متغير، حيث يتم قياس النسب المئوية لمساحات الإضاءة الطبيعية المناسبة والأقل والأعلى من المستوى المناسب داخل مسطح الفصل الدراسي، وذلك لكل متغير من متغيرات السماحية الإشعاعية.

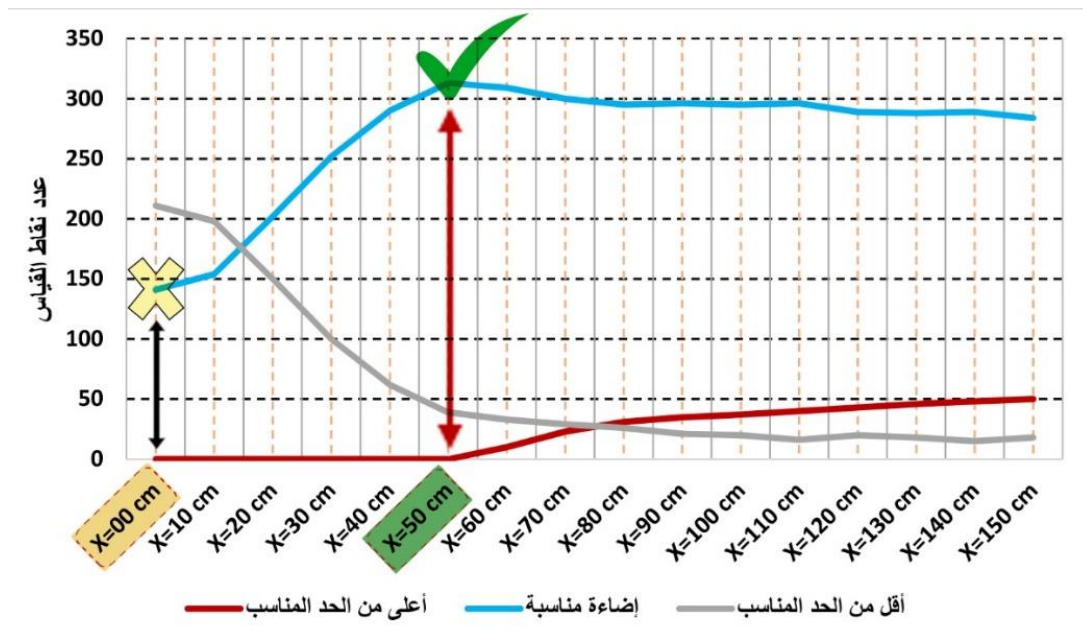
١,٧ مستوى الإضاءة الطبيعية:

تم إعداد نموذج المحاكاة النهائي كما سبق تصميمه باستخدام كاسرات الشمس، مع إجراء المحاكاة للبدائل المتتالية لقيمة منطقة سماحية الإشعاع الشمسي (X)، ويتضح من الشكل رقم (١٦) بعض أمثلة نتائج المحاكاة لمستوى الإضاءة الطبيعية الموزعة داخل الفصل طبقا لقيمة مسافة السماحية الإشعاعية المقابلة لها.



شكل ١٦: تدرج مستويات الإضاءة الطبيعية للفصل مع زيادة قيمة السماحية الإشعاعية، المصدر: الباحث.

وبتلخيص كافة النتائج يتضح من الشكل رقم (١٧) التمثيل النسبي لقيم مستوى الإضاءة الطبيعية المناسبة والأقل والأعلى من المستوى الملائم طبقاً لعدد نقاط القياس، كما يتضح ذلك أيضاً من الجدول رقم (٥) والذي يوضح النسبة المئوية لمستويات الإضاءة داخل الفراغ لكل قيمة متغيرة لسماحية الإشعاع الشمسي.



شكل ١٧: التمثيل البياني لتدرج مستويات الإضاءة الطبيعية للفصل مع زيادة قيمة السماحية الإشعاعية، المصدر: الباحث.

جدول ٥: النسبة المئوية لمستويات الإضاءة الطبيعية مع زيادة قيمة السماحية الإشعاعية

الإضاءة الأقل من الحد المناسب	مستوى الإضاءة المناسب	الإضاءة الأعلى من الحد المناسب	قيمة سماحية الإشعاع	الإضاءة الأقل من الحد المناسب	مستوى الإضاءة المناسب	الإضاءة الأعلى من الحد المناسب	قيمة سماحية الإشعاع
٧,٣٩	٨٣,٨١	٨,٨١	٨٠	٥٩,٩٤	٤٠,٠٦	٠٠	٠٠
٥,٩٧	٨٤,٠٩	٩,٩٤	٩٠	٥٦,٢٥	٤٣,٧٥	٠٠	١٠
٥,٦٨	٨٣,٨١	١٠,٥١	١٠٠	٤٢,٦١	٥٧,٣٩	٠٠	٢٠
٤,٥٥	٨٤,٠٩	١١,٣٦	١١٠	٢٨,٤١	٧١,٥٩	٠٠	٣٠

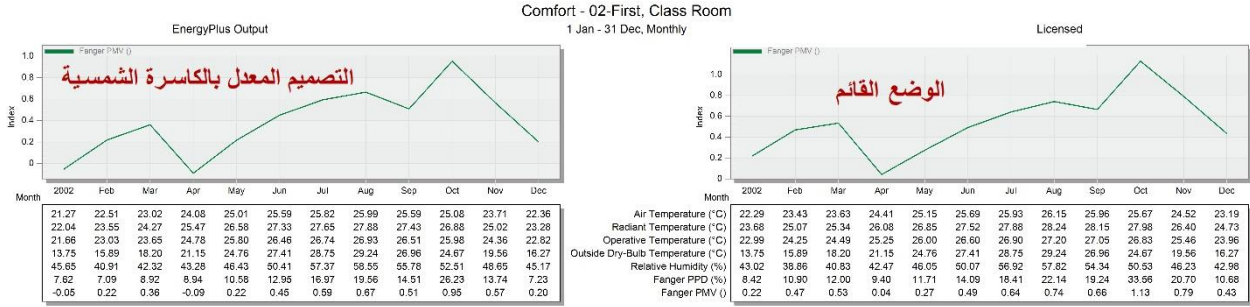
الإضاءة الأقل من الحد	مستوى الإضاءة المناسب	الإضاءة الأعلى من الحد	قيمة سماحية	الإضاءة الأقل من الحد	مستوى الإضاءة المناسب	الإضاءة الأعلى من الحد	قيمة سماحية
٥,٦٨	٨٢,١٠	١٢,٢٢	١٢٠	١٧,٦١	٨٢,٣٩	٠٠	٤٠
٥,١١	٨١,٨٢	١٣,٠٧	١٣٠	١١,٠٨	٨٨,٩٢	٠٠	٥٠
٤,٢٦	٨٢,١٠	١٣,٦٤	١٤٠	٩,٣٨	٨٧,٧٨	٢,٨٤	٦٠
٥,١١	٨٠,٦٨	١٤,٢٠	١٥٠	٨,٢٤	٨٥,٢٣	٦,٥٣	٧٠

حيث يتضح مما سبق النتائج التالية:

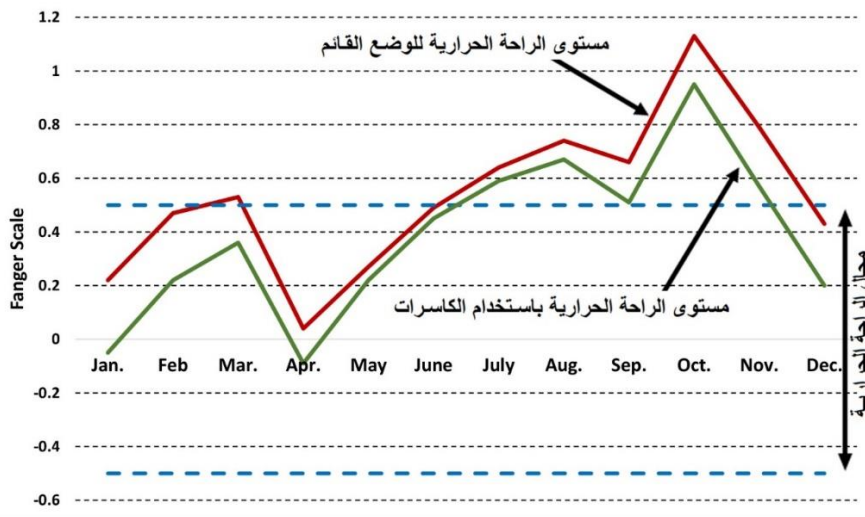
- طبقا لقيمة السماحية الإشعاعية ($X=00\text{cm}$) يتضح أن تأثير الفتحات الخارجية المطلة على الواجهة الرئيسية تختلف عن تأثير الفتحات المطلة على الممر الداخلي للمدرسة، حيث يتضح أن نسبة الإضاءة الطبيعية الملائمة قد انخفضت إلى ما يقارب ٤٠٪، أي أن تأثير الشبابيك بالواجهة الرئيسية يتجاوز نصف مسطح الفراغ الداخلي.
- مع زيادة قيمة منطقة السماحية الإشعاعية، تزداد معدلات الإضاءة الطبيعية المناسبة داخل الفراغ وبالتبعية تقل المناطق ذات المستوى الأقل من الحد المسموح للإضاءة المناسبة.
- تساهم قيمة منطقة السماحية الإشعاعية في الحد من المناطق ذات مستويات الإضاءة الأعلى من الحد المناسب، حيث تختفي عند قيم سماحية إشعاعية للأقل من ٦٠ سم.
- تحقق السماحية الإشعاعية بقيمة ٥٠ سم أعلى نسبة مئوية لتوفير الإضاءة الطبيعية المناسبة، حيث تصل إلى توفير حوالي ٨٩٪ من مسطح الفصل بنسبة إضاءة مناسبة، بينما تقع باقي المسطحات في حدود الإضاءة الطبيعية الأقل من الحد المناسب، مع عدم وجود أية مناطق تكون فيها الإضاءة أعلى من الحد المناسب.
- تعتبر قيمة السماحية الإشعاعية المقدرة بـ ٥٠ سم من أنسب الحلول التصميمية للكاسرة الشمسية، حيث تتميز كما سبق بتوفير أعلى نسبة من الإضاءة الطبيعية المناسبة، إضافة إلى ذلك فإن باقي المناطق يمكن معالجتها بسهولة حيث إنها تقع في نطاق أقل من الإضاءة الطبيعية المناسبة مما يسمح بسهولة التعامل معها بالإضاءة الصناعية، مع التميز بعدم وجود أية مناطق زائدة عن الحد المناسب للإضاءة والتي يصعب التعامل معها في حال وجود وهج إضاءة عالي.
- بزيادة قيمة السماحية الإشعاعية عن ٥٠ سم، تنخفض نسبة الإضاءة الطبيعية الواقعة في الحد المناسب، وبالرغم من انخفاضها بنسبة بسيطة حيث مازالت أعلى من ٨٠٪، بالإضافة إلى تقليل المسطحات الواقعة أقل من الحد المناسب للإضاءة، إلا أنه يصاحب ذلك ظهور المناطق ذات الوهج والأعلى من الحد المناسب للإضاءة والتي يصعب التعامل معها، ولذلك تعتبر القيم الأعلى غير مفضلة من الناحية التطبيقية بالفصول.

٢,٧ مستوى الراحة الحرارية:

من خلال نموذج المحاكاة، يوضح الشكل رقم (١٨) التمثيل البياني لمستويات الراحة الحرارية المقارنة باستخدام مقياس Fanger بين الوضع القائم للنوافذ والتصميم المعدل بإضافة الكاسرات الشمسية على النوافذ الخارجية بتحقيق مسافة سماحية إشعاعية مثلى والمقدرة بقيمة ٥٠ سم، حيث يتضح بالتحليل من خلال الشكل رقم (١٩) الأثر الإيجابي لاستخدام الكاسرات بازدياد مجال الراحة الحرارية للفراغ بصورة ملحوظة كما يتضح من التمثيل البياني، حيث انخفضت المنطقة الواقعة أعلى من مجال الراحة الحرارية بنسبة ٤٨ % عن مجال الراحة الحرارية الناتج من الوضع القائم للتصميم النمطي.



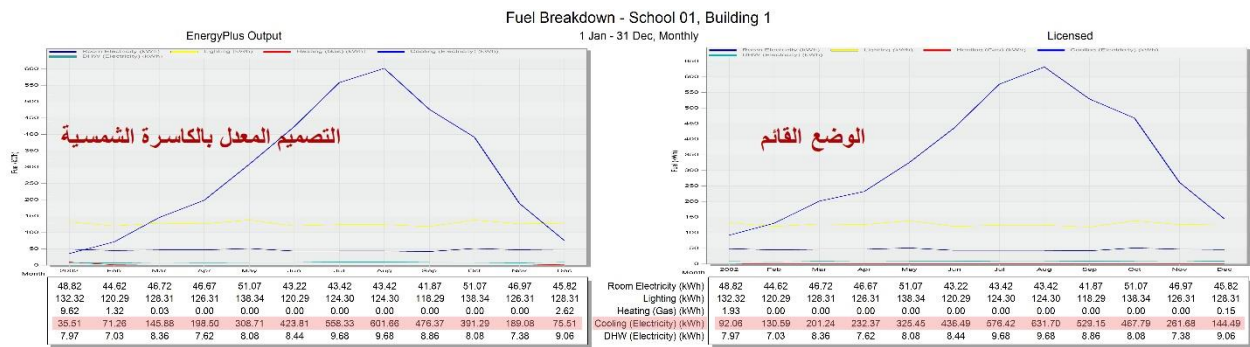
شكل ١٨ : التمثيل البياني لمستويات الراحة الحرارية للتصميم النمطي والتصميم المعدل للفصل، المصدر: الباحث.



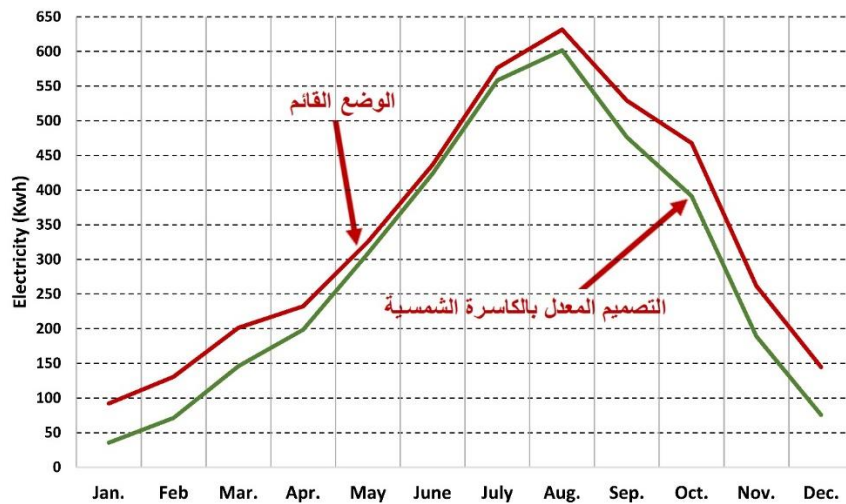
شكل ١٩ : الأثر الإيجابي لمستوى الراحة الحرارية مع استخدام التصميم المعدل للنوافذ الخارجية، المصدر: الباحث.

٣,٧ مستوى الطاقة المستهلكة:

كما يتضح من دراسة التأثير على مستوى الراحة الحرارية، فبالإضافة إلى التأكيد على انخفاض الطاقة المستهلكة اللازمة للتبريد، وذلك يتضح من الشكل رقم (٢٠) للتمثيل البياني للطاقة المستهلكة للوضع القائم والوضع بعد إضافة الكاسرات الشمسية، حيث يتضح من الشكل رقم (٢١) انخفاض الطاقة المستهلكة بنسبة ١٣,٧٣ % سنوياً، وذلك على مستوى الفصل الواحد.



شكل ٢٠ : التمثيل البياني لمستويات الطاقة المستهلكة للتصميم النمطي والتصميم المعدل للفصل، المصدر: الباحث.



شكل ٢١: الأثر الإيجابي لمستوى الطاقة المستهلكة مع استخدام التصميم المعدل للنوافذ الخارجية، المصدر: الباحث. ٨. النتائج

يتضح من الدراسة البحثية الخاصة بتصميم النوافذ الخارجية للفصول التعليمية النمطية باستخدام الكاسرات الشمسية المولدة للطاقة المتجددة، من خلال تصميم معماري متكامل مع عناصر المبنى، عدة نتائج رئيسية يمكن ذكرها في النقاط التالية:

- اختلاف الظروف المناخية تعتبر من أحد أهم الأسباب الرئيسية لعدم ملائمة وضع اشتراطات تصميمية ونماذج مباني موحدة على مستوى جمهورية مصر العربية.
- النماذج التصميمية الموحدة للمباني التعليمية لا تحقق الراحة المطلوبة لمستخدمي الفراغ لافتقارها للتصميم البيئي الواعي طبقاً للظروف المناخية لكل منطقة.
- اقتصر التوصيات الخاصة بالمراعاة البيئية للمباني التعليمية على بعض النقاط المحددة بصورة عامة، مثل استخدام الكاسرات الشمسية على النوافذ بدون وضع أية ضوابط إلزامية لها، الأمر الذي أدى إلى عدم تنفيذها في العديد من المباني الحالية والاعتماد على النموذج النمطي بصورته المعتمدة من هيئة الأبنية التعليمية بالرغم من أهميته.
- للتصميم الواعي البيئي للعناصر المعمارية بالمباني التعليمية مردوده الإيجابي لتحقيق مستويات الراحة البيئية المطلوبة لمستخدمي الفراغ، مما يعود بالإيجاب على رفع كفاءة العملية التعليمية بمصر.
- إعادة صياغة الاشتراطات الرئيسية للمباني التعليمية أصبح ضرورة في ظل المتغيرات المستجدة للمناخ والطاقة والتطور التكنولوجي الحادث.
- تضمين كافة المعايير التصميمية للمباني التعليمية ذات التأثير المباشر على مستويات الراحة البيئية كاشتراطات إلزامية لهذه المباني.
- يحقق التصميم النمطي الموحد للفصول التعليمية مستويات إضاءة طبيعية مناسبة بمقدار حوالي ٦٢٪ فقط من المسطح الداخلي للفصل، بينما يقع حوالي ٢٦٪ من المسطح الداخلي بمستوى إضاءة أقل من المستويات المناسبة، وحوالي ١١٪ بمستويات أعلى من المستوى الملائم.
- تتركز أغلب المناطق الأقل من مستويات الإضاءة المناسبة عند منطقة باب الفصل لافتقارها لمصدر إضاءة طبيعي لهذه المنطقة، الأمر الذي يجب معه إعادة تصميم باب الفصل بتوفير مصادر إضاءة طبيعية من خلال النوافذ المستجدة أو تغيير مواد الباب لمنفذ للإضاءة الطبيعية بدلاً من المصمتة.
- التصميم المستجد للكاسرة الشمسية لتحقيق مستوى إضاءة طبيعية داخل الفراغ بتوفير منطقة سماحية إشعاعية مناسبة، حيث تصل تلك المنطقة في مدينة القاهرة إلى ٥٠ سم كقيمة أمثل عند وضع الكاسرات الشمسية.
- يمكن تحقيق التصميم النموذجي للكاسرة الشمسية المولدة للطاقة من خلال تصميم الكاسرة بعناصر حركة ديناميكية، يمكن معها التحكم الديناميكي المستمر في منطقة السماحية الإشعاعية طبقاً للواجهة المناخية والموقع الجغرافي للمدرسة.

- للكاسرات الشمسية تأثير إيجابي مباشر على رفع مستوى الراحة الحرارية بصورة ملحوظة، حيث تساهم في الحد من المستوى الأعلى من الراحة بنسبة تصل إلى ٤٩٪ في الفصول النمطية متوسطة المسطح من خلال نافذتين فقط في المجال المناخي لمدينة القاهرة.
- تساهم الكاسرات الشمسية المولدة للطاقة في خفض نسبة الطاقة المستهلكة بنسبة إيجابية ملحوظة، منها على سبيل المثال خفض الطاقة للفصل النمطي بمدينة القاهرة حوالي ١٤٪.

٩. خلاصة الدراسة البحثية

يتضح من الدراسة البحثية التطبيقية أهمية تصميم كافة العناصر المعمارية للمباني بصورة عامة، وللمباني النمطية بصورة خاصة، وذلك لأن التعديلات إيجابية التأثير على تلك النماذج تضمن سرعة وانتشار تنفيذها على مستوى الجمهورية، إضافة إلى تضمين منهجية للتصميم تراعي الاختلاف البيئي بين أنحاء الجمهورية بظهور تأثيرها على التصميم المعماري لعناصر المبنى. وقد اتضح ذلك من التطبيق الذي تم إجراؤه على تصميم الكاسرات الشمسية المولدة للطاقة والمتكاملة مع العناصر المعمارية للمبنى، حيث يتضح أهمية تأثيرها الإيجابي إضافة إلى الاختلاف المتوقع في تصميم الكاسرة مع اختلاف العوامل المناخية المؤثرة، مما يعني بالضرورة عدم تطبيق النماذج النمطية الموحدة بنفس الصورة في كافة الظروف المناخية.

١٠. التوصيات

- من خلال النتائج وخلاصة الدراسة البحثية، يمكن التوصل لعدة توصيات رئيسية ذات مردود إيجابي على المباني والمستعملين، من أهمها:
- أهمية إجراء الدراسات المستقبلية التي تعمل على تطوير كافة المعايير والنماذج التصميمية الحالية للمباني النمطية سواء التعليمية أو السكنية وغيرهما بما يحقق الوصول للمعايير الخاصة ذات الأثر الإيجابي البيئي على تلك المباني طبقاً لكل ظروف بيئية مختلفة للوصول للتصميم الأمثل النمطي لكل منطقة.
 - إجراء كافة التعديلات المقترحة لتلك الدراسات في المعايير والاشتراطات الخاصة بالتصميم النمطي لتلك المباني، مثل الاشتراطات الخاصة بتصميم المدارس النمطية وغيرها.
 - وضع جدول مقترح من خلال معايير هيئة الأبنية التعليمية يتم فيه تحديد القيمة المثلى لمنطقة السماح الإشعاعية، وذلك طبقاً للواجهة والمنطقة المناخية، مع تحديد الزاوية الأنسب لميول الكاسرة الشمسية.
 - وضع تصور مقترح لتصميم نموذج ديناميكي نمطي للكاسرة الشمسية يمكن تركيبه على النوافذ الخارجية للمدارس القائمة، على أن يحتوي على التوصيلات الميكانيكية التي يمكن من خلالها التحكم في قيمة السماح الإشعاعية وميول الكاسرة الشمسية، بحيث يتم تعميمه على كافة المناطق المناخية مع إمكانية التحكم طبقاً لجدول التوصيات لكل منطقة ولكل واجهة، وطبقاً أيضاً للظروف المحيطة بالنافذة، بحيث يسمح في التحكم في شدة الإضاءة الداخلية طبقاً لنوع النشاط الدراسي.

المراجع

- [1] Lynn, p., 2010. Electricity from Sunlight an Environmental Approach. Springer Press, Berlin, Heidelberg.
- [2] Scheer, H., 2002. The Solar Economy Renewable Energy for a Sustainable Global Future. Earth Scan Press, UK.
- [3] Krebs, f., 2008. Polymer Photovoltaics A Practical Approach. SPIE Press, Bellingham, Washington USA.
- [4] Dobson, r., & Prinsloo, 2014. Solar Tracking. Prinsloo Dobson, South Africa.
- [5] Hurt, R. & Sahn, A., 2009. Amonix concentrated Photovoltaic systems, Center for Energy Research, Las Vegas, USA.
- [6] Castaner, I. & Silvestre, s., 2002. Modelling Photovoltaic Systems Using PSpice1. John Wiley & Sons, England.

-
- [7] Sick, F. & Erge, T., 2015. *Photovoltaics in Buildings – A Design Handbook for Architects and Engineers*. XYZ Publishing Company, Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (FhG-ISE), Freiburg, Germany.
- [8] Central Administration for Research, Studies and Building Planning, 2018. *Standards and requirements for the suitability of school sites and buildings*, General Authority for Educational Buildings, Arab Republic of Egypt.
- [9] Tregenza, P. & Wilson, M., 2011. *Daylighting Architecture and Lighting Design*, Routledge, New York, USA.
- [10] J. V. Hoof. (2008). Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2007.00516.x>. Retrieved 10th Sep. 2024.
- [11] UN-Habitat, 2018, *Sun shading catalouge, Adequate shading: Sizing overhangs and fins*, United Nations Human Settlements Programme, Nairobi, Kenya.
- [12] Gevorkian, P., 2008. *Solar Power in Building Design*. MC Graw Hill Press, Singapore Sydney Toronto.
- [13] Solar electricity, 2019, *Solar electricity handbook*. <http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-angle-calculator.html>. Retrieved 14th Oct. 2024.
- [14] Saifelnasr, S. S., 2016, *A Design Chart to Determine the Dimensions of a Horizontal Shading Device over an Equator-Facing Window as a Function of the Latitude and the Shading Height*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*.
- [15] Sas, W., 2024. *Solar angle calculator*, <https://www.omnicalculator.com/physics/sun-angle>. Retrieved 14th Oct. 2024.