

2023

أثر استخدام نظام الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى على تغيير شكل العمارة المحلية The Effect of Using Building Integrated Photovoltaic (BIPV) With the Building Envelope in Changing the Local Architectural Character

Ahmed Ayman Eissa

Follow this and additional works at: <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/erjeng>

Recommended Citation

Ayman Eissa, Ahmed (2023) "أثر استخدام نظام الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى على تغيير شكل العمارة المحلية The Effect of Using Building Integrated Photovoltaic (BIPV) With the Building Envelope in Changing the Local Architectural Character," *Journal of Engineering Research*: Vol. 7: Iss. 2, Article 14. Available at: <https://digitalcommons.aaru.edu.jo/erjeng/vol7/iss2/14>

This Article is brought to you for free and open access by Arab Journals Platform. It has been accepted for inclusion in Journal of Engineering Research by an authorized editor. The journal is hosted on Digital Commons, an Elsevier platform. For more information, please contact rakan@aarua.edu.jo, marah@aarua.edu.jo, u.murad@aarua.edu.jo.

أثر استخدام نظام الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى على تغيير شكل العمارة المحلية

Effect of Using Building Integrated Photo Voltaic (BIPV) with the Building Envelope in Changing the Local Architectural Character

م.م/ أحمد أيمن عيسى* 1 - أ.م.د/ حسام الدين مصطفى 2 - أ.د/ صفاء محمود عيسى³

¹ مدرس مساعد بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية

² أستاذ مساعد بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية

³ أستاذ التصميم المعماري بقسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية

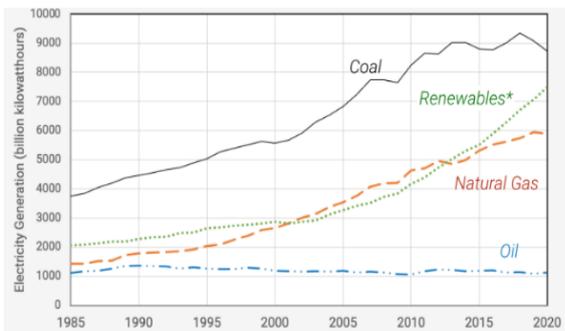
ahmed_amer6@sh-eng.menofia.edu.eg

case of an existing building, setting a hypothesis to renovate it using the BIPV system, conducting a digital simulation to calculate the total energy generated by the solar panels, and assessing the economic feasibility of using the system in Egypt. One of the most significant findings of this research is that the module becomes an essential element for designing the façade, choosing the appropriate size of panels, determining the locations and sizes of different openings in the building, and creating a completely smooth architectural expression. Using coloured panels can also produce energy for the building, and increasing the height of the roof wall can provide more space for facades to produce energy.

Keywords: Solar Energy; Energy Generating Buildings; BIPV System; Architectural Expression; Sustainability.

1- المقدمة

لا تمثل الطاقة عصب الحياة في أي مجتمع فحسب، بل تعد أحد أهم الإشكاليات العالمية المعاصرة لارتباطها بخطط التنمية الاقتصادية لأي دولة، لذلك كانت مصادر الطاقة سبباً رئيساً للعديد من الصراعات الدولية بدءاً من الحرب العالمية الأولى وحتى الآن، فمع الزيادة المتواترة لتعداد سكان العالم، واستخدام التقنيات المعتمدة على الكهرباء في جميع الأنشطة المعيشية، تزايدت احتياجات الإنسان للطاقة بشكل واضح على مستوى العالم، حيث تنامي استهلاك الطاقة الكهربائية بمقدار الضعف تقريباً خلال العقدين الماضيين فقط، كما يتضح بالشكل (1). وللأسف ارتبط تزايد استهلاك الطاقة بارتفاع تلوث البيئة، من خلال المعدلات المتزايدة للانبعثات الكربونية كناتج لاحتراق الوقود الأحفوري، حيث تزايدت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة 43٪، بمتوسط زيادة سنوية في حدود 2٪ [1].



شكل (1) تطور استخدام الكهرباء حسب مصادر الطاقة المختلفة

المصدر: <https://prod.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption>

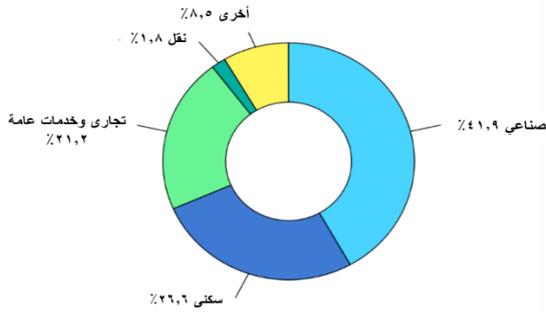
ملخص البحث

يبحث الإنسان دوماً عن مصادر جديدة للطاقة لتلبية احتياجاته المتزايدة من تطبيقات الحياة المتطورة، ويعيب الكثير من مصادر الطاقة نضوبها وتأثيرها السلبي على البيئة، وفي ظل الظروف الحالية من الأزمات المناخية اتجهت العديد من الدول للبحث عن مصادر طاقة جديدة، وخاصة الطاقة الشمسية التي تتصف بأنها طاقة متجددة لا تنضب، وكان من أهم تطبيقات الطاقة الشمسية المرتبطة بالعمارة بنظام BIPV المتكامل مع المبنى لإنتاج الكهرباء، فلينتج عنه لغة تعبير معماري جديدة. لذلك تتمثل مشكلة البحث في دراسة إمكانية استخدام هذا النظام في مصر، والتي يتوافر بها الإشعاع الشمسي بصورة كبيرة، والتنقيب بلغة التعبير المعماري الجديدة التي سوف تنتج مع استخدام النظام؛ ويهدف البحث إلى استعراض الخلفية النظرية لنظام BIPV وكيفية تكامل الألواح الشمسية المولدة للكهرباء مع العمارة، للوصول إلى المعايير التصميمية والتعبيرية للأبنية الجديدة أو القائمة بمصر لتعزيز الاستدامة، وذو استحداث تعبيراً معمارياً جديداً يتناسب مع الظروف المحلية ومتوافق بيئياً. وتتمثل أهمية البحث في إمكانية تحويل المنشآت المعمارية في مصر من وحدات مستهلكة للطاقة إلى وحدات منتجة للطاقة النظيفة، ووضع حل واقعي لإنتاج الطاقة الكهربائية سواء في المباني العامة أو السكنية من الطاقة الشمسية المستدامة النظيفة. ينتج البحث المنهج التجريبي من خلال دراسة حالة أحد المباني القائمة، ووضع فرضية لإعادة تجديده باستخدام نظام BIPV أجريت محاكاة رقمية، لحساب إجمالي الطاقة الناتجة عن الألواح الشمسية التي تم استخدامها في غلاف المبنى الخارجي، ومن ثم معرفة الجدوى الاقتصادية لاستخدام النظام في مصر. وقد توصلت الدراسة إلى النتائج التالية: أصبح الموديول المعتمد على مفاصل الألواح الشمسية عنصراً أساسياً في تصميم الواجهة، تأثرت لغة التعبير المعماري الناتجة عن نظام BIPV حيث تنتج عمارة ملساء، لا تتسم بوجود بروزات أو ظلال، يمكن استخدام ألوان الألواح الشمسية في التشكيل المعماري للواجهة، كما ينصح بزيادة ارتفاع الدروة لتعطي مساحة أكبر للواجهات، وبالتالي زيادة إنتاجية الطاقة.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية؛ المباني المولدة للطاقة؛ الألواح الشمسية المتكاملة؛ التعبير المعماري؛ الاستدامة.

Abstract

People are always searching for new energy sources to meet the increasing demands of modern life. However, many of these sources could be more sustainable and help the environment. As a result, many countries are exploring renewable energy sources such as solar power. Buildings can utilize solar energy using Building Integrated Photo Voltaic (BIPV) systems, which produce electricity and offer a new architectural expression and innovative approach to architecture worldwide. This research investigates the feasibility of using BIPV systems in Egypt, where solar radiation is abundant, to produce electricity from building facades and achieve sustainable, architecturally expressive buildings that address global environmental crises. The importance of this research lies in its potential to convert energy-consuming architectural facilities in Egypt into clean energy-producing unites and provide a realistic solution to producing electricity from clean, sustainable solar energy in public and residential buildings. The research method involves studying the



شكل (4) استهلاك الكهرباء العالمي حسب القطاع لعام 2021
المصدر:

<https://prod.iea.org/reports/kevj-world-energy-statistics-2021/final-consumption>.

وفي هذا الصدد يصف "لو كوربوزيه" المسكن إنه آلة للسكني، وتعتبر الآلة ناجحة إذا أدت وظيفتها على أكمل وجه، وكذلك المبنى يعتبر ناجحاً إذا أدى وظيفته بإتقان، ولذلك من الممكن أن يتم تحويل المنشأ إلى مصدر لإنتاج الطاقة النظيفة، مما يعني أن ركائز العمارة الناجحة سوف تعتمد على الوظيفة والإنشاء وإنتاج الطاقة المستدامة والجمال والاقتصاد.

وهنا يجب أن نتذكر أن عمارة الحدائق ظهرت وانتشرت في مختلف دول العالم، وأصبحت طراز عالمي بسبب الحرب العالمية الثانية، وما تلاها من أزمات سياسية واقتصادية في معظم دول العالم، وأزمات عمرانية تمثلت في تهديم العديد من مدن أوروبا، فأصبحت عمارة الحدائق الحل الوحيد السريع لإعادة بناء هذه المدن، وإيواء المشردين جراء الحرب. ونحن اليوم على أعقاب أزمة بيئية تدفعنا للبحث عن شكل جديد للعمارة المستدامة، المعتمدة على استخدام أساليب تقنية حديثة لتوليد الطاقة من مصادر جديدة وصديقة للبيئة.

من الجدير بالذكر اتجاه بعض البحوث لدراسة المباني صفرية الطاقة أو الموفرة للطاقة، وواقع الأمر أن استهلاك الإنسان للكهرباء يزداد بشكل مطرد منذ بدايات القرن العشرين وحتى الآن، لأن رفاهية الإنسان مرتبطة باستهلاكه من الكهرباء، حيث ارتفع متوسط استهلاك الفرد عالمياً من الكهرباء من 1198 ك.و.س للفرد عام 1960 إلى 3110 ك.و.س للفرد عام 2020 [8]، فباتالي يجب أن يتجه التفكير نحو دراسة المباني المنتجة للطاقة، لأن المباني الموفرة للطاقة اليوم سوف تستهلك طاقة غداً، لذلك نحن بحاجة للتفكير في تصميم المباني بطريقة واقعية مختلفة، وأن نتعامل مع المبنى على أنه مصدر لتوليد الطاقة، وليس مجرد فراغ معماري.

1-1 مشكلة البحث

أصبح استخدام نظام BIPV أو الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى لإنتاج الطاقة الكهربائية واقعاً معاصراً في العديد من دول العالم، وتتمثل المشكلة البحثية في دراسة إمكانية استخدام هذا النظام في مصر، والتي يتوافر بها الإشعاع الشمسي بصورة كبيرة، وي طرح البحث سؤالاً رئيسياً هو: ما هي المحددات التصميمية والتعبيرية التي تحكم استخدام نظام BIPV في مصر؟ وكيف يمكن أن تؤثر على لغة التعبير المعماري للمبنى؟

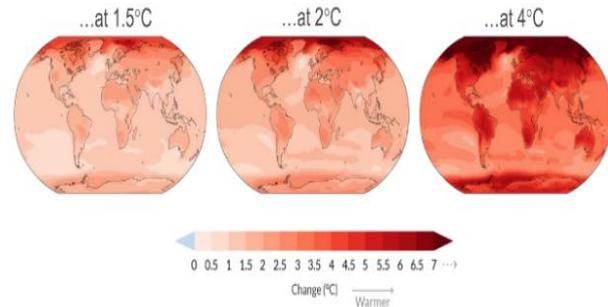
2-1 أهداف البحث

- استعراض الخلفية النظرية لنظام BIPV، وكيفية تكامل الألواح الشمسية المولدة للكهرباء مع غلاف المبنى الخارجي.
- التوصل للمعايير التصميمية والتعبيرية في إنشاء وإعادة تجديد المباني في مصر، من خلال استخدام نظام BIPV للوصول إلى مبنى مستدام، ذو تعبير معماري جديد، يتناسب مع الظروف المحلية، ويمكنه التعامل مع أزمات البيئة العالمية، والطلب على الطاقة النظيفة.
- التنبؤ بلغة التعبير المعماري التي ستنشأ مع استخدام نظام BIPV.
- التوصل لمجموعة من التوصيات يمكن أن تمهد لتطبيق نظام BIPV في مصر.

3-1 أهمية البحث

تعد مصر من أكثر دول قارة إفريقيا اكتظاظاً بالسكان، ومن أعلى دول العالم في المعدلات المتسارعة للتزايد السكاني، حيث بلغ تعداد السكان في مصر عام

وتشير التوقعات لزيادة المتوسط السنوي إلى 3.2% في منطقة الشرق الأوسط، وحدها في العقود المقبلة. وهذا بدوره أدى إلى التغيرات المناخية التي نشهدها الآن، والمتمثلة في ظاهرة الاحتباس الحراري، وارتفاع درجة حرارة الأرض، كما يتضح بالشكل (2)، وتوابعها من تصحر وجفاف، وانصهار جليد القطبين، وارتفاع منسوب المياه، وحدثت أزمات في التنوع البيولوجي والمحاصيل الزراعية ... الخ [2]، مما أصبح يندب بالانقراض البيئي لكوكب الأرض في المستقبل القريب، بسبب الوتيرة السريعة للتغيرات المناخية، ويتوقع العديد من الباحثين غرق العديد من الدول حوالي عام 2100 بسبب انصهار جليد القطبين، كما يتضح بالشكل (3).



شكل (2) أثر ارتفاع درجة الحرارة على ظاهرة الاحتباس العالمي

المصدر: <https://www.unep.org/ndc/resources/report/climate-change-2021-physical-science-basis-working-group-i-contribution-sixth>



شكل (3) خريطة العالم المتوقعة لعام 2100 بسبب انصهار جليد القطبين
المصدر:

https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/s0ze1n/future_map_of_the_world_by_gordonmichael_scallion

ومن جهة أخرى تعد العمارة جزءاً من مشكلة الطاقة، حيث تستحوذ البيئة المبنية السكنية على نسبة 26,6% من إجمالي استهلاك الطاقة، وتستحوذ المنشآت العامة الإدارية والتجارية وغيرها على نسبة 21,2% [3]، كما يتضح بالشكل (4). فضلاً عن أن النمو المتوقع لاستخدام الطاقة في البيئة المبنية بشكل عام خلال العقدين القادمين هو 34% بمتوسط 1.5% سنوياً [4].

وبالتالي أصبح الحل الأمثل لإنقاذ كوكب الأرض وموارده من الدمار، الاتجاه نحو استخدام طاقة متجددة ونظيفة، مما يفتح المجال لإمكانية الاستفادة من طاقة الشمس، والتي تعتبر طاقة نظيفة وآمنة، ودائمة لا تنضب، مما يجعلها الخيار الأمثل، فضلاً عن الصور العديدة لاستخداماتها، سواء من خلال التسخين، أو تحويلها إلى طاقة كهربائية باستخدام الخلايا الكهروضوئية [5].

ويمتد استخدام الطاقة الشمسية في العمارة إلى بدايات نشأة العمارة، بالتعامل مع الإضاءة الطبيعية الناتجة من الشمس، لتتطور عنها مؤخراً مجموعة من المنهجيات للتعامل مع المشكلات البيئية، وكيفية توظيف الطاقة الشمسية في العمارة [6]. ويذكر السير "نورمان فوستر": "أن العمارة الشمسية Solar Architecture ليست مجرد اتجاه جديد، ولكنها أصبحت ضرورة ملحة في الوقت الحالي" [7].

وبذلك أصبحت تقنية الطاقة الشمسية تتمتع بميزة نسبية مهمة في مصر، وهي إنها ذات تقنية متاحة، فضلاً عن توافر السطوح الشمسية المناسب لاستخدامها. ومن جهة أخرى توجد إرادة حكومية لترشيد استهلاك الطاقة، وتنمية الطاقة المتجددة، حيث ضخ بنك الاستثمار القومي في الفترة من 2009 إلى 2017 استثمارات تقدر بنحو 1.3 مليار جنيه لتنمية استخدام الطاقة المتجددة، وتشجيع تصنيع معادنها محلياً بحيث تمثل نقطة ارتكاز وطنية لاستخدام مصادر الطاقة النظيفة والمتجددة، ومن تلك المشاريع إنارة 211 قرية وتجمع سكني بواسطة نظم الخلايا الفوتوفولطية بقدرة 2 ميجاوات، وإنشاء المحطة الشمسية بالكريما بقدرة 140 ميجاوات، وعدد من المشاريع الأخرى مثل محطة [11]، وفي إطار ما سبق تتمثل أهمية البحث فيما يلي:

- إمكانية تحويل المنشآت المعمارية في مصر من وحدات مستهلكة للطاقة إلى وحدات منتجة للطاقة النظيفة.
- إمكانية وضع حل واقعي لإنتاج الطاقة الكهربائية سواء في المباني العامة أو السكنية، وإيجاد مصدر للطاقة المستدامة النظيفة منخفضة التكلفة، المتمثلة في الطاقة الشمسية.

2- منهجية البحث

يترجم البحث ضمن البحوث الكمية والتجريبية، فقد قامت الدراسة بعمل دراسة حالة على أحد المباني القائمة، لإعادة تجديده باستخدام نظام BIPV، كما أجريت محاكاة رقمية، لحساب إجمالي الطاقة الناتجة عن الألواح الشمسية المستخدمة في الغلاف الخارجي للمبنى، لاستنباط الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذا النظام بمصر، ثم مناقشة النتائج في إطار تحليلي لتحديد الطابع المعماري الناتج، ومعرفة المحددات التصميمية والتعبيرية التي تحكم استخدام نظام BIPV في مصر. وكيفية تأثيرها على لغة التعبير المعماري. وبالتالي استخلاص مجموعة من التوصيات تمهيداً لتطبيق هذا النظام بمصر. وفي هذا الإطار يتكون البحث من الخلفية النظرية التي تناقش مفهوم نظام BIPV أو الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى، والعلاقة بين النظام وعمارة التقنية الفائقة، والأمثلة الدولية للتطبيق الفعلي للنظام، ثم الأثر التطبيقي لدراسة الحالة، ثم سرد النتائج ومناقشتها، والتوصيات المقترحة.

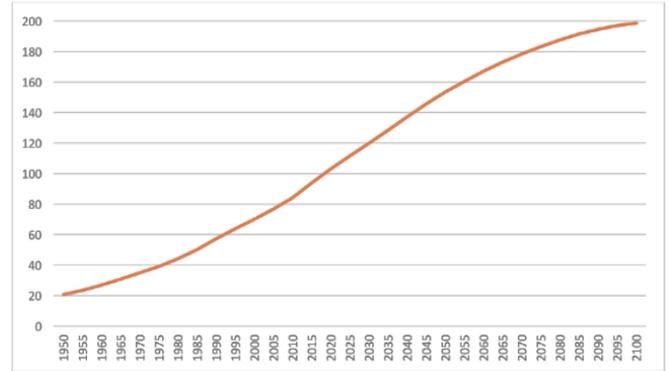
3- نظام الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى

ترتكز فكرة الخلايا الكهروضوئية (PV) Photo voltaic cells بصفة عامة على تحويل الضوء أو الإشعاع الشمسي إلى تيار كهربائي مستمر DC من خلال التأثير الكهروضوئي لبعض أشباه الموصلات كبلورات السيليكون، ويستخدم النظام الكهروضوئي مجموعة من الألواح، تضم عدد من الخلايا الشمسية، كما يتضح بالشكل (7). وفي منتصف الثمانينات حدث ابتكار ثوري لهذا النظام من خلال استخدام Inverter أو محول لتحويل التيار المستمر الناتج من الخلية الشمسية إلى تيار متردد AC بفرق جهد 220 فولت، كما يتضح بالشكل (8)، مما يجعله قابلاً للاستخدام في الأجهزة الكهربائية، فضلاً عن إمكانية توصيل التيار الناتج للشبكة العامة لتوزيع الكهرباء.

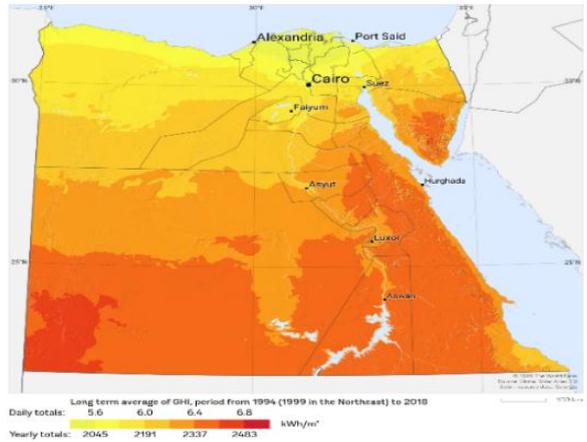
وانعكس استخدام الخلايا الكهروضوئية على العمارة، من خلال نظم الألواح الشمسية المثبتة بالمبنى (BAPV) Building Applied Photovoltaics، وهو عبارة عن وحدات كهروضوئية مثبتة على سطح المبنى، حيث تمثل إضافة على المبنى، وتكون مثبتة بشكل مائل وفقاً لزاوية ميل الشمس المثلى للموقع، ويكون التثبيت على قوائم رأسية موجودة على السطح، بما يشكل حمل إضافي على سطح المنشأ [12]، وتوجد عدة أمثلة محلية تستخدم هذا النظام مثل مبنى المدرسة البريطانية بمدينة الشيخ زايد عام 2010م، بمتوسط إنتاج سنوي للطاقة 176 ميجاوات/سنة، كما يتضح بالشكل (9).

أما نظم الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى أو Building Integrated Photovoltaic (BIPV) فهو عبارة عن تقنية متعددة الوظائف، مصممة لخدمة أكثر من وظيفة، فإلى جانب توليد الكهرباء، يعمل النظام أيضاً كجزء من غلاف المبنى الخارجي، وتعرف الوكالة الدولية للطاقة IEA نظام BIPV على إنه: "نظام كهروضوئي يتضمن المكونات اللازمة لإنتاج التيار الكهربائي، وتوصيله بدوائر التيار المتردد الداخلية والخارجية، وما يشمله من الأنظمة الميكانيكية اللازمة لدمجه في المبنى [13]. ويعرف أيضاً بأنه: "مواد كهروضوئية تحل محل مواد البناء التقليدية في بعض أجزاء غلاف المبنى الخارجي، وتدخل بشكل مباشر في تشييد المبنى، وتكون المصدر الرئيسي أو الإضافي لتوليد الكهرباء في المبنى" [14]، وبالتالي فنظام BIPV هو دمج وتكامل الألواح الكهروضوئية مع مفهوم التصميم العام لغلاف المبنى الخارجي، سواء الأسطح أو الواجهات، أو

2022 نحو 104 مليون نسمة، ومن المتوقع أن يصل في عام 2050 إلى 160 مليون نسمة، وسيصل في عام 2100 لنحو 200 مليون نسمة، كما يتضح بالشكل (5)، مما يستتبعه من تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية، فضلاً عن تزايد متوسط الاستهلاك السنوي للفرد من الكهرباء في مصر، الذي ارتفع من 1950 ك.و.س عام 2012 إلى 2020 ك.و.س عام 2019، ومن المتوقع أن يصل إلى 2500 ك.و.س عام 2050. مما سيخلق ضغطاً هائلاً على موارد الطاقة المحلية، حيث تعد مصر أكبر مستهلك للنفط والغاز على مستوى قارة إفريقيا، ومع زيادة أسعار النفط، وإنتاجه غير المستدام، والتحرك الدولي ضد الانبعاثات الكربونية، كان من الضروري تكريس الجهود لتعزيز استخدام الطاقة المتجددة [9].



شكل (5) تطور تعداد سكان مصر من عام 1960 إلى 2100
المصدر: <http://www.zohry.com/pubs/EGYMIG-WP01-2018.pdf>



شكل (6) معدل الإشعاع الشمسي ك.و.س/م² في مصر
المصدر: <https://data.worldbank.org> 2022

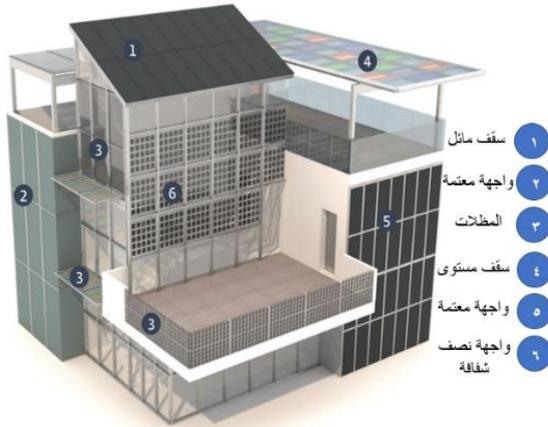
وفي إطار التعامل مع الطاقة الشمسية تعد مصر من الدول ذات المعدل العالي للسطوح الشمسية بسبب موقعها الجغرافي، حيث يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي العمودي اليومي من 5.6 إلى 6.8 ك.و.س / م²، ويتراوح الإشعاع المباشر للشمس من 2045 إلى 2483 ك.و.س/م² سنوياً، وذلك بمتوسط قدرة من 9 إلى 11 ساعة في اليوم [10]، كما يتضح بالشكل (6).

ومن جهة أخرى فإنه يوجد اهتمام عالمي حقيقي في مجال تبادل تقنية الطاقة الشمسية ما بين دول الشمال والجنوب، دونما احتكار، وهو ما يتضح في مؤتمرات المناخ العالمية السنوية التي بلغ عددها 27 مؤتمر حتى عام 2022، فالأزمة طالت العالم بأسره، وأصبح من الضروري تبادل هذه التقنيات بأسعار منخفضة، لأن دول الشمال هي الأكثر تضرراً من الأزمات البيئية. ولم يعد الأمر ينحصر في تحقيق مكاسب اقتصادية للدول الرأسمالية، بقدر ما هو أهمية استراتيجية للحفاظ على كوكب الأرض من الدمار، فلا بد من مساعدة دول الجنوب، التي لا تمتلك تقنيات وخبرات الطاقة الجديدة، والمساعدة على التصنيع المحلي لهذه التقنيات.



ب- المدرسة البريطانية بالشيخ زايد عام 2010
شكل (9) استخدام نظام BAPV على أسطح الأمثلة المحلية
المصدر:

<https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/eg/EG-Egypt-PV---Report-2020.pdf>



شكل (10) مواضع تثبيت ألواح نظام BIPV في المبنى

المصدر: Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders Status Report 2020

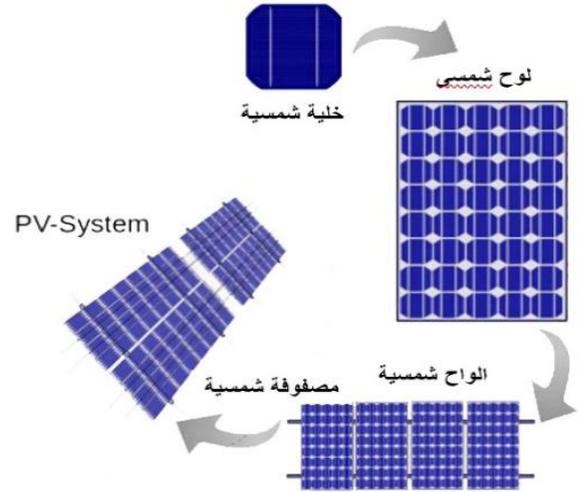
أ. الأسطح: يمكن تركيب ألواح BIPV على أسطح المبنى سواء كانت مستوية أو مائلة، حيث تمتاز بسهولة التركيب ومقاومتها للماء والحرارة، وفي حالة السطح المستوي تكون الألواح مثبتة بشكل أفقي كما يتضح بالشكل (11). وفي حالة الأسطح المائلة يتم تركيب الألواح بشكل مائل، بحيث يكون اللوح عمودياً على أفضل زاوية ميل للشمس في المنطقة، لتحقيق أقصى قدرة لتوليد الطاقة، كما يتضح بالشكل (12). وقد تغطي الألواح كل السطح أو جزء منه، ويمكن أيضاً تركيب الألواح في الفتحات العلوية Sky Lights، من خلال استخدام الألواح شبه الشفافة أي التي تسمح بمرور الإضاءة الطبيعية [15]، كما يتضح بالشكل (13).



شكل (11) تركيب ألواح BIPV بشكل أفقي على الأسطح
المصدر:

<https://www.onyxosolar.com/all-you-need-Professional-Experience-Book-English.pdf>

أي جزء من المبنى يتعرض لأشعة الشمس. وبالتالي تركز فكرة نظام BIPV على التكامل بين التقنية والطاقة ولغة التعبير المعماري في المبنى. وتتوزع الألواح الشمسية أو الكهروضوئية في نظام BIPV في المبنى في المواضع التالية، كما يتضح بالشكل (10): -



شكل (7) مكونات النظام الشمسي
المصدر:

https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:From_a_solar_cell_to_a_PV_system.svg

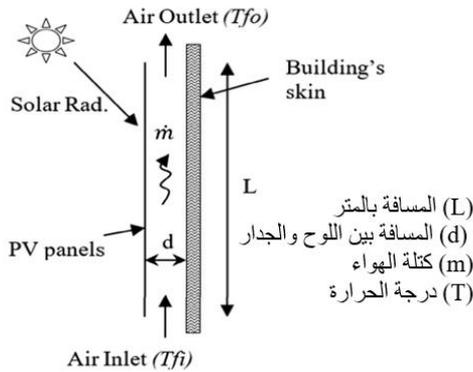


شكل (8) المحول Inverter الذي يقوم بتحويل التيار المستمر لتيار متردد
المصدر: تصوير الباحث في: 2022-10-17



أ- مبنى شركة "فاركو" بمدينة العامرية الإسكندرية 1998

ب. يعتبر عازل جيد للحرارة والرطوبة والصوت.
ج. يعتبر النظام مرشح طبيعي لأشعة الشمس الضارة الساقطة على الواجهة، سواء الأشعة تحت الحمراء ذات الأثر الحراري، أو الأشعة فوق البنفسجية ذات الأثر الإشعاعي.
د. إمكانية توفير الإضاءة الطبيعية للمبنى من خلال الألواح الشفافة والنصف شفافة.
هـ. يحل محل مواد التشطيبات سواء للأسطح أو الواجهات، وبالتالي يلغى تكلفة استخدامها.
و. إمكانية إعطاء تعبير معماري جديد مبتكر.
ز. تقليل الانبعاثات الكربونية، وتوفير الالتزام البيئي تجاه المجتمع، فضلاً عن توفير مساحات الأراضي المخصصة لإقامة محطات الطاقة سواء التقليدية، أو حتى محطات الطاقة الشمسية التي تحتاج لمساحات كبيرة من الأرض، حيث يعد المبنى في حد ذاته محطة لتوليد الطاقة، ويمكن أن يمد الشبكة العامة بالكهرباء [19].



شكل (14) تفصيله للفراغ بين ألواح BIPV وجدار الواجهة

المصدر: Agathokleous, R. Kalogirou, S. (2018). Part I: Thermal analysis of naturally ventilated BIPV system: Experimental investigation and convective heat transfer coefficients estimation. *Solar Energy* 169 (2018) 673–681.



شكل (15) مميزات نظام BIPV المصدر: الباحث

3-1 التعبير المعماري لنظام BIPV

تمثل الواجهة جزء أساسي من غلاف المبنى، ويتم استخدامها بشكل فعال لأغراض الاتصال، وإعطاء المبنى مظهرًا مميزًا، ومع استخدام نظام BIPV في تغطية الواجهات، تتضح مجموعة من المحددات تتحكم في التعبير المعماري للواجهة، لأن تشكيل كتلة الواجهة سوف يؤدي لإلقاء الظلال على الواجهة، مما يستتبعه ضعف توليد الكهرباء، وقلّة كفاءة النظام، لذلك يقوم الباحثون ومنتجو النظام بتطوير وحدات خاصة من حيث المظهر لنظام BIPV، حيث يمكن تشكيل الألواح الكهروضوئية بأنماط ملونة ومزخرفة تخفي المادة الأصلية لبلاط الخلايا الكهروضوئية [20]، مما يعطي مظهرًا وتصميمًا فريدًا، وبالتالي يشكل اللون لغة تعبير جديدة عند التعامل مع نظام BIPV، وبالرغم من أن اللون يعد وسيلة ضعيفة نسبيًا للتعبير المعماري. وتعد مسألة تحديد درجات الألوان أمرًا مثيرًا للاهتمام عند استخدام نظام BIPV، حيث تعتبر الألوان الأسود والرمادي ودرجات اللون الأزرق أفضل الألوان المستخدمة لإنتاج الكهرباء من الألواح الشمسية، حيث أن قدرة توليد الكهرباء تختلف باختلاف الطول الموجي للألوان، فاللون ذو الطول الموجي المرتفع يفقد طاقة أعلى من اللون ذي الطول الموجي المنخفض [21]، كما يتضح بالشكل (16)،



شكل (12) تركيب ألواح BIPV بشكل مانل على الأسطح المصدر:

Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders Status Report 2020



شكل (13) تركيب ألواح BIPV نصف الشفافة على الأسطح

المصدر: Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders Status Report 2020

بالنسبة للحالة المحلية تتحدد زوايا ميل الألواح الشمسية في الأقاليم المصرية حسب الموقع الجغرافي وزاوية ميل الشمس، ففي الأقاليم الشمالية مثل محافظة الإسكندرية من المستحسن وضع الألواح على الأسطح بزواوية ميل 35° تجاه الجنوب للاستفادة القصوى من أشعة الشمس، أما بالنسبة إلى الأقاليم الجنوبية مثل محافظات الصعيد وتكون أفضل زاوية ميل للألواح على السطح 15° تجاه الجنوب [16].

ب. الواجهات: يمكن تثبيت الألواح بشكل رأسي على جدران الواجهة، ويتم تثبيت الألواح بشكل مشابه لكسوة الواجهات التقليدية، ويمكن دمج الألواح في الحوائط الستائرية Curtain Walls، أو مع تصنيع الواجهات سابقة التجهيز، بحيث تكون عنصر واحد مع وحدة الواجهة، ويتضمن هذا الأسلوب عدة مزايا، من حيث الكفاءة والجودة، وتقليل وقت التنفيذ، والتكلفة.

ج. العناصر الخارجية للمبنى: يمكن تركيب النظام على العناصر الخارجية التي تتعرض لأشعة الشمس، مثل المظلات سواء كانت شفافة أو غير شفافة، أو درابزينات التراسات والسلالم الخارجية.

وفي إطار ما سبق يعتبر نظام BIPV متكاملًا مع البناء إذا كان يوفر بالإضافة لتوليد التيار الكهربائي، وظيفة أو أكثر في المبنى مما يلي: -

○ العزل الحراري والصوتي للواجهات والأسقف، حيث يتم تثبيت الألواح على المبنى سواء في الواجهات أو السطح، مع ترك فراغ يتراوح من 10 إلى 15 سم للتهوية وتمديد الوصلات، ويعمل ذلك الفراغ على مرور الهواء لتبريد الألواح من الخلف، لكي تحافظ على كفاءتها، وبالتالي يقوم بعزل الحرارة الخارجية عن الفراغ الداخلي، كما يساعد على جعل المبنى عازل للصوت [17]، كما يتضح بالشكل (14).

○ عزل الرطوبة عن الغلاف الخارجي، حيث يقوم النظام بمنع تسرب المياه للفراغ الداخلي بسبب مكوناته من السليكون، ومن الشائع تركيب طبقة من العزل أسفل الألواح لتعمل كحاجز ثانوي لتصريف تكاثف الرطوبة والأمطار والتلج إن وجد [18].

○ استخدامه في التظليل كمظلات لبعض فراغات المبنى، أو في الإضاءة الطبيعية في حالة استخدام ألواح شفافة في النوافذ.

○ توفير الأمان والسلامة عند استخدام الألواح كدرابزين للشرفات والسلالم الخارجية.

○ تشكيل الغلاف الخارجي للمبنى.

وبالتالي يوفر نظام BIPV العديد من المزايا للمبنى، كما يتضح بالشكل (15)، أهمها ما يلي: -

أ. توليد الطاقة الكهربائية بشكل مجاني، دون الاعتماد على الشبكة العامة لتوزيع الكهرباء، فضلاً عن تجنب خسائر الفقد في شبكات الكهرباء.

كما تم تصنيع ألواح BIPV شبه شفافة باستخدام السيليكون غير المتبلور (a-)، وبلورات تيلورايد الكادميوم (CdTe)، وبلورات سيلينيد جاليوم الانديوم (Si)، والنحاسية (CIGS) وثاني أكسيد التيتانيوم (TiO₂) [22]، ويمكن الحصول على درجات مختلفة من شفافية الألواح الشمسية، والتي تعد منتجاً مرغوباً في المشروعات بسبب إمكانية استخدامها في الفتحات وكبدل للزجاج الملون [25]، كما يتضح بالأشكال من (19) إلى (21).



شكل (18) خلايا شمسية سداسية تعطي أشكال منحنية الجناح الألماني بمعرض إكسبو "ميلانو" 2015

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/iea-pvps-15-r07-coloured-bipv-report>



شكل (19) مشروع مؤسسة "تيرينا بالبحر الأبيض المتوسط" في كالابريا، إيطاليا. يستخدم المبني ألواح BIPV شبه الشفافة

المصدر: www.onyxosolar.com/mediterranean-foundation-terina



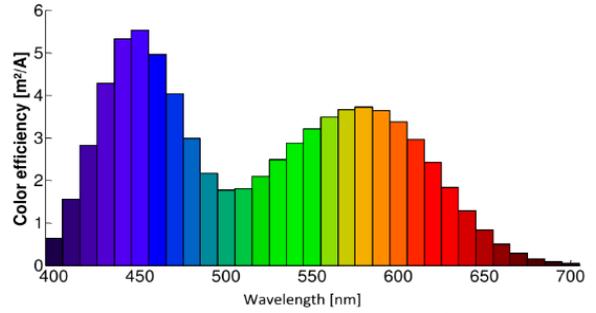
شكل (20) ألواح تيلورايد الكادميوم شبه الشفافة المصدر: (www.soltechenergy.com)



شكل (21) ألواح شبه شفافة، محطة شحن سيارات بزيورخ

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/iea-pvps-15-r07-coloured-bipv-report>

الذي يوضح أن الألوان الأفضل كفاءة في توليد الطاقة هي درجات الأزرق ذات الطول الموجي 450 نانومتر [22]، وعلى العكس نجد أن درجات اللون الأحمر ذات الطول الموجي 700 نانومتر ذات كفاءة منخفضة في توليد الطاقة الكهربائية. ومن أمثلة استخدام اللون الأزرق تجديد مبنى مؤسسة "أبي بيير" في باريس حيث يستخدم المبني ألواح BIPV الزرقاء [23]، كما يتضح بالشكل (17). وتدرج كفاءة ألوان الألواح في توليد الطاقة كما يتضح بالجدول (1). كما يمكن استخدام الخلايا الشمسية سداسية الشكل التي يتم تجميعها لتعطي أشكال منحنية، ويمكنها تقديم حلول متعددة لنظام BIPV في سياق المبني مقارنة بالألواح التقليدية [24]، كما يتضح بالشكل (18).



شكل (16) يوضح العلاقة بين كفاءة اللون والطول الموجي، ونلاحظ بان اللون الأزرق لديه أعلى كفاءة

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/iea-pvps-15-r07-coloured-bipv-report>



شكل (17) مشروع مؤسسة "أبي بيير" في باريس

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/iea-pvps-15-r07-coloured-bipv-report>

جدول (1) كفاءة ألوان الألواح في إنتاج الطاقة الكهربائية (%)

درجة الكفاءة	اللون
٥,٥	بنفسج
٥,٣	بنفسج
٥	بنفسج
٤,٥	بنفسج
٤	بنفسج
٣,٨	بنفسج
٣,٦	بنفسج
٣,٦	بنفسج
٣,٤	بنفسج
٣,٢	بنفسج

حتى وصل اتجاه عمارة التكنولوجيا الفائقة إلى ذروته من خلال مبنى "جورج بومبيو" في باريس للمعماري "ريتشارد روجرز" عام 1977، ومبنى شركة "الويدز" بمدينة لندن للمعماري "ريتشارد روجرز"، ومقر بنك HSBC في هونغ كونج للمعماري "نورمان فوستر" عام 1986، حيث استخدمت هذه المباني التقنيات المستخدمة لتشغيل المبنى في إضفاء طابع خارجي مميز ومبتكر، وخلقت مساحات داخلية مرنة، تعمل على خلق تفاعل بين مستخدم الفراغ الداخلي، وتخلق في نفس الوقت علامات مميزة قوية للسباق العمراني للمدينة، كما هو موضح بالأشكال (24) و(25).



شكل (24) مبنى شركة "الويدز" لندن للمعماري ريتشارد روجرز 1986
المصدر: <https://rshp.com/projects/office/lloyds-of-london/>



شكل (25) بنك HSBC هونغ كونج للمعماري فوستر عام 1986
المصدر: <https://www.fosterandpartners.com/projects/hongkong-and-shanghai-bank-headquarters/>

وعندما ظهرت أدبيات الاستدامة والعمارة الخضراء في أواخر القرن العشرين، وتحديداً عام 1987، ركزت مفاهيم الاستدامة على التفاعل بين الإنسان والبيئة والموارد [31]، ثم تداخلت هذه الأدبيات مع مفهوم التطور التقني، مما يوضح أن مفهوم الاستدامة يتطور وفقاً للظروف، وأصبح يعتمد على التطور التقني، وبات من الواضح أن العقود المقبلة ستتمتع بالتعامل مع حلول عالية التقنية في حياتنا اليومية [32]، حيث تسمح أدوات التحكم الذكية في ترشيد استهلاك الطاقة، أو توليدها، مما يجعل كل من نظام BIPV واتجاه عمارة التكنولوجيا الفائقة مندرجان ضمن العمارة المستدامة [33]. ولذلك عندما ظهرت الحاجة لاستخدام مصادر جديدة للطاقة تحد من انتشار الانبعاثات الكربونية، ذكر "نورمان فوستر": "أن العمارة الشمسية أصبحت ضرورة في الوقت الحالي" [34]. وفي عام 1979 قام المعماري "توماس هيرتز" ببناء أول مبنى سكني بمدينة ميونخ بألمانيا باستخدام BIPV المثبتة في الأسطح والواجهات لتوليد الطاقة كما يتضح بالشكل (26)، ومن ثم بدأ النظام ينتشر في العالم منذ التسعينات، ومن الأمثلة التي استخدمت تقنية BIPV مبنى قاعة مدينة "فرايبورج" بألمانيا عام 2017، للمعماري "كريستوف إنجن هوفن"، كما يتضح بالشكل (27).

كذلك تم تصنيع ألواح BIPV تصل درجة شفافيتهما إلى 79%، باستخدام بلورات أكسيد قصدير الانديوم وثاني كبريتيد التنجستن، وتتميز هذه الألواح بدرجة شفافية تقارب الزجاج الطبيعي، مما يجعلها مفيدة للاستخدام في النوافذ [26]، كما يتضح بالشكل (22).



شكل (22) الخلية الشمسية التي تصل درجة شفافيتهما إلى 79%
المصدر: <https://www.msn.com/areg/news/techandscience/79percent/ar->

3-2 العلاقة بين نظام BIPV وعمارة التقنية الفائقة

في إطار ما سبق قد يثار تساؤل، إلى أي اتجاه معماري تنتمي العمارة المعتمدة على نظام BIPV؟ والواقع أن أقرب اتجاه معماري يمكن أن ينسب إليه النظام هو اتجاه عمارة التقنية الفائقة High-Tech، الذي ظهر في ستينات القرن العشرين كامتداد لعمارة الحدائق، واعتمد على استخدام مستجدات التقنية الصناعية لتشييد المباني، واستخدامها في إظهار التعبير المعماري للمبنى بدلاً من المواد التقليدية [27]. حيث يقدم المبنى مظهراً صناعياً وميكانيكياً، من خلال استخدام مفردات تقنية عالية لتكوين بعداً تشكيمياً متكاملًا مع لغة التعبير المعماري [28]، ويعد هذا الاتجاه من أكثر الاتجاهات المعمارية تطوراً نظراً للتطور التقني المتواتر، والذي أعطى مساحة إبداعية كبيرة للمعماريين، ويعتبر اتجاه عمارة التقنية الفائقة جزء من معادلة التقنية الصناعية، حيث تتوازن الرغبة في جعل الحياة أكثر وظيفية وفعالية، ويتم تصميم الفراغات الوظيفية بموضوعة عالية، وبأسلوب تعبيرى واقعي ومبتكر [29]. ومن أهم ملامح هذا الاتجاه ما يلي: -

- تنفيذ المنشآت بقدرات تقنية عالية تعتمد على مواد بناء غير تقليدية، والتأكيد على أسلوب الإنشاء في التعبير المعماري للمبنى.
- الاعتماد على إظهار الأعمال الميكانيكية والكهربائية وأنظمة الصرف والتكييف، ومواسير الصرف على واجهة المبنى، مما يؤكد الصدق والوضوح للمبنى.
- تحقيق الشفافية مع استخدام الحوائط الستائرية.

ومن أبرز معماريي هذا الاتجاه "نورمان فوستر" و"ريتشارد روجرز" و"رينزو بيانو" و"سانتياجو كالاترافا" و"نيكولاس غريمشاو". وكانت أولى مشروعات عمارة التكنولوجيا الفائقة عام 1967 تتسم بالواضح، وهو مصنع "ريلينس كونترولز" بمدينة "سويندون" في إنجلترا من خلال فريق مكون من المعماريين "ويندي تشيزمان" و"نورمان فوستر" و"ريتشارد روجرز"، وتتكون واجهة المبنى من إطارات مستطيلة، وكمرات رفيعة وواجهات من الصلب المموج [30]، كما يتضح بالشكل (23).



شكل (23) مصنع "ريلينس كونترولز" - سويندون 1967
المصدر: <https://www.fosterandpartners.com/projects/reliance-controls/>



أ- المبنى قبل التجديد



ب- المبنى بعد التجديد

شكل (28) إعادة تجديد مبنى مكاتب "سيمات" مدريد -2015-
للمعماري خوان كارلوس جوتيريز جارسيا

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/succesful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/>

(2) إعادة تجديد مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا عام 2016، كما يتضح بالشكل (29)، تم استخدام ألواح ذات لون رمادي فاتح، وينتج المتر المربع طاقة قصوى بمقدار 110 وات /م²، وتم تثبيت 1545 لوح بمقاسات مختلفة، على مساحة 2870م² في واجهات وأسطح المبنى، ينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 82 ألف ك.و.س، تغطي 98% من استهلاكه. وقد تم تعديل تصميم الواجهة القديمة تماماً أثناء التجديد، وتغيرت لغة التعبير المعماري للمبنى من عمارة الحدائق التقليدية إلى التعامل مع المسطح الكبير والمسيطر للألواح ذات اللون الرمادي، وتم تصغير مسطح النوافذ، وتم الاستغناء عن بعض التراسات.



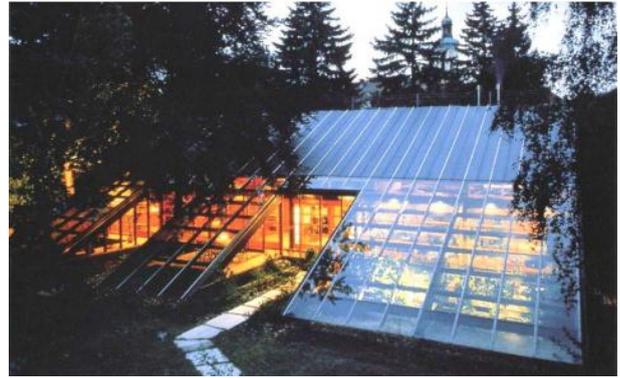
أ- المبنى قبل التجديد



ب- المبنى بعد التجديد

شكل (29) إعادة تجديد مبنى سكني بمدينة زيورخ -2016- للمعماري "فريدين"

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/succesful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/>



شكل (26) مبنى سكني في ميونخ -1979- المعماري توماس هيرتز

المصدر: [Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders Status Report 2020](https://iea-pvps.org/key-topics/succesful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/)



شكل (27) قاعة مدينة فرايبورج - ألمانيا 2017- للمعماري "كريستوف إنجن هوفن"

المصدر: [Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders Status Report 2020](https://iea-pvps.org/key-topics/succesful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/)

4- أمثلة التطبيق الفعلي لنظام BIPV

تركزت أمثلة استخدام نظام BIPV بشكل أساسي في قارة أوروبا منذ بداية الألفية الثالثة، بسبب عدم وجود مصادر للنفط والغاز الطبيعي تغطي استهلاكها، واعتمادها بشكل أساسي على خطوط الغاز الروسية والنفط العربي، أما الولايات المتحدة ما زال يوجد لديها مخزون وافر من مصادر النفط والغاز الطبيعي، وتتوعد هذه الأمثلة ما بين منشآت حديثة، ومنشآت معاد تجديدها، فيما يلي سرد لأهم الأمثلة.

4-1 أمثلة المنشآت المعاد تجديدها

بدأ استخدام نظام BIPV في تجديد المنشآت القديمة سواء العامة أو السكنية منذ عام 2012، وتمثلت أوضح الأمثلة التي تم تجديدها فيما يلي: -

(1) إعادة تجديد مبنى مكاتب "سيمات" بمدينة مدريد بإسبانيا عام 2015، كما يتضح بالشكل (28)، وتم استخدام ألواح سوداء اللون، وينتج المتر المربع طاقة قصوى سنوياً بمقدار 116 ك.و.س/سنة، وتم تركيب الألواح على مساحة 173م² على جزء من واجهات المبنى الجنوبية والشرقية والغربية، ويبلغ مقاس اللوح الواحد (1046×1559 مم)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 20 ألف ك.و.س، تغطي كامل استهلاك المبنى. وقد تغيرت لغة التعبير المعماري للمبنى من الشكل البسيط لعمارة الحدائق الاقتصادية إلى أربعة خطوط أفقية رئيسية في الواجهة، من خلال تثبيت الألواح في المسافة الرأسية بين النوافذ.



ب- المبنى بعد التجديد
شكل (31) إعادة تجديد مبنى سكن جامعي سلاجيس بالدنمارك -2017-
للمعماري "كانت"

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/successful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/>

4-2 أمثلة المنشآت الحديثة

(1) مبنى مكاتب "سولس مارجرين" بمدينة درامين بالنرويج عام 2015، كما يتضح بالشكل (32)، تم استخدام ألواح خضراء شبيهة شفافة، تم تثبيت الألواح على مساحة 1242م^2 في واجهات واسطح المبنى، وتعددت مقاسات الألواح إلى 26 مقاس مختلف، من مقاس $(590 \times 960\text{ مم})$ ومقاس $(2790 \times 590\text{ مم})$ ، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 106 ميغا و.س، تغطي 23% من استهلاكه. اعتمد التعبير المعماري على الخطوط الأفقية الممتدة لخط الفتحات وخط جلسات النوافذ، وتمثل البريق الخاص بالألواح بوضوح في تشكيل الواجهة.



أ- الواجهة الجنوبية الغربية



ب- منظر عام للمبنى

شكل (32) مبنى ادارى حديث الانشاء درامين النرويج - 2015-
للمعماريين "لوف وإنجيبجورج لين"

المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/successful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/>

(2) مبنى مدرسة بمدينة كوبنهاجن بالدنمارك عام 2017، كما يتضح بالشكل (33)، تم تثبيت 12 ألف لوح أزرق على مساحة 6000م^2 على واجهات المبنى، ويبلغ مقاس اللوح الواحد $(700 \times 700\text{ مم})$ ، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 200 ميغا.و.س، تغطي 50% من استهلاكه. واعتمد التعبير المعماري للمبنى على الملمس الخشن من خلال البروز البسيط لبعض الألواح.

(3) إعادة تجديد مبنى مكاتب بمدينة برن بسويسرا عام 2017، كما يتضح بالشكل (30)، حيث استخدمت ألواح راسية على الواجهة، وينتج المتر المربع طاقة قصوى 116 وات م^2 . وتم تثبيت الألواح على مساحة 12384م^2 في واجهات وسطح المبنى، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 12 ألف ك.و.س، وهي تغطي 40% من استهلاك المبنى للكهرباء. وقد تغيرت لغة التعبير المعماري من الاعتماد على الهيكل الإنشائي المتضح في الواجهة من خلال الأعمدة، والخطوط الأفقية ما بين خط الفتحات وخط الجلسات، إلى الاعتماد على الشكل الخشن للألواح المثبتة بشكل عمودي على الواجهة.



أ- المبنى قبل التجديد



ب- المبنى بعد التجديد
شكل (30) إعادة تجديد مبنى مكاتب - برن سويسرا -2017-
للمكتب المعماري GWZ

المصدر: https://solararchitecture.ch/wpcontent/uploads/2021/06/Die-Mobiliar_InDesign.pdf

(4) إعادة تجديد مبنى سكن جامعي بمدينة "سلاجيس" بالدنمارك عام 2017، كما يتضح بالشكل (31)، تم استخدام ألواح ذات لون رمادي، وينتج المتر المربع طاقة قصوى بمقدار 20 كيلو وات م^2 . وتم تثبيت الألواح على مساحة 150م^2 في واجهة المبنى الجنوبية، و 40م^2 من الألواح شبيهة الشفافة على درابزين الشرفات، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 21 ألف ك.و.س من خلال الواجهة الجنوبية، وبمعدل ستة آلاف ك.و.س/سنة من خلال الشرفات. ولم يتغير التعبير المعماري للمبنى بعد استخدام نظام BIPV.



أ- المبنى قبل التجديد

(4) مبنى "سولاريس" السكنى بمدينة زيورخ بسويسرا عام 2017، كما يتضح بالشكل (35)، تم استخدام الألواح ذات اللون البنى الداكن، حيث ينتج المتر المربع طاقة قصوى بمقدار 116 وات. قصوى/م²، تم تثبيت الألواح على مساحة 815 م² في واجهات وسطح المبنى، وينتج للمبنى طاقة سنوياً بمعدل 32 ألف ك.و.س، تغطي 47% من استهلاكه.



شكل (35) مبنى "سولاريس" بمدينة زيورخ بسويسرا -2017-
للمعماري "هجين بيرجر فريس"
المصدر: <https://solararchitecture.ch/solaris-416/>

(5) أحد المباني السكنية بمدينة زيورخ بسويسرا عام 2019، كما يتضح بالشكل (36)، تم استخدام الألواح ذات اللون البنى الداكن، وتم تركيب الألواح على مساحة 904 م² في واجهات وسطح المبنى، وينتج للمبنى طاقة سنوياً بمعدل 37 ألف ك.و.س، تغطي 26% من استهلاكه.



شكل (36) مبنى بمدينة زيورخ بسويسرا -2019- للمعماري "كوفين"
المصدر: <https://solararchitecture.ch/apartment-building-in-zurich-hongg>

نجد من استعراض الأمثلة السابقة أنه تم استخدام النظام في أغلب الأنماط الوظيفية للمنشآت سواء المباني السكنية أو التعليمية أو الإدارية، وتراوحت نسبة تغطية النظام للطاقة التي يستهلكها المبنى من 36% إلى 100%، وتتنوع لغة التعبير المعماري من مثال لآخر.

5- الدراسة التطبيقية

تتكون الدراسة التطبيقية من ثلاثة أجزاء، يناقش الجزء الأول دراسة الجدوى الاقتصادية لتطبيق نظام BIPV في مصر، والثاني عمل نموذج محاكاة لأحد المنشآت القائمة، والثالث ذكر بعض أمثلة تجديد المنشآت العامة التي تمت مؤخراً، وإمكانية تطبيق نظام BIPV بها.

4-1 الجدوى الاقتصادية للنظام في مصر

تتضح الجدوى الاقتصادية لتطبيق نظام BIPV في مصر، بالجدول رقم (2) الذي يوضح كفاءة إنتاج الكهرباء للمتر المسطح في الواجهات بنظام BIPV المعتمة والنصف شفافة بمدينة القاهرة، ويوضح العمود الأول توجيه الواجهة المثبت عليها الألواح، والعمود الثاني متوسط الإنتاج سنوياً بالكيلو وات ساعة، والعمود الثالث معدل الكفاءة، ويوضح العمود الرابع متوسط سعر المتر المربع باليورو (سعره في يناير 2023 حوالى 30 جنيه مصري)، ويوضح العمود الخامس متوسط سعر الكهرباء السنوية الناتجة بالجنيه المصري، وهو يمثل ضرب متوسط الإنتاج السنوي للمتر في سعر الكيلو وات ساعة الذي بلغ 160 قرشاً بدون دعم في آخر ديسمبر 2022. ويوضح العمود السادس فترة استرداد سعر المتر سنوياً، من خلال قسمة متوسط سعر المتر المربع على متوسط سعر الكهرباء السنوية الناتجة [35]. ويوضح العمود السابع العائد الاقتصادي للمتر بعد فترة الاسترداد بالجنيه، من خلال



أ- الواجهة الشمالية



ب- منظر عام للمبنى

شكل (33) مدرسة - كوينهاجن -2017- للمعماري "مولر"
المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/successful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/>

(3) مبنى مكاتب "إينزون" بمدينة "بولزانو" بشمال إيطاليا عام 2012، كما يتضح بالشكل (34)، تم استخدام الألواح ذات اللون البنى الداكن وشبه الشفافة، وتم تثبيت الألواح على مساحة 2340 م² في واجهات وسطح المبنى، ويبلغ مقاس اللوح (626×1020 مم)، وينتج للمبنى طاقة سنوياً بمعدل 113 ميغا.و.س، تغطي كامل استهلاكه. اعتمد التعبير المعماري الموديول الخاص بأبعاد الألواح، وتوزعت من خلال هذا الموديول النوافذ التي اتبعت نفس أبعاد الألواح.



أ- الواجهة الجنوبية



ب- منظر عام للمبنى

شكل (34) مبنى إدارى حديث الإنشاء بمدينة بولزانو بشمال إيطاليا
-2012- للمعماري "زينو بامبي"
المصدر: <https://iea-pvps.org/key-topics/successful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/>



ج- الواجهة الغربية



د- الواجهة الشرقية



هـ الواجهة الجنوبية

شكل (37) مبنى قسم الهندسة الكهربائية بكلية الهندسة جامعة المنوفية
المصدر: تصوير الباحث في 18-10-2022

ضرب متوسط سعر الكهرباء السنوية الناتجة في عدد السنين المتبقي بعد فترة الاسترداد، ومع مراعاة أن العمر الافتراضي للنظام يتراوح من 25 إلى 35 سنة [35]، وتم حساب عمر النظام في الجدول على أنه 30 عاماً. ونجد أن المتر المربع من الألواح المعتمة ينتج من 75 إلى 200 ك.و.س/سنة، وينتج المتر المربع من الألواح نصف الشفافة من 90 إلى 250 ك.و.س/سنة، وبالطبع تختلف كفاءة إنتاج كل واجهة للطاقة حسب التوجيه والموقع الجغرافي، ويتضح من الجدول أن الواجهة الجنوبية هي أفضل واجهة في توليد الطاقة، تليها الواجهة الشرقية ثم الغربية ثم الشمالية.

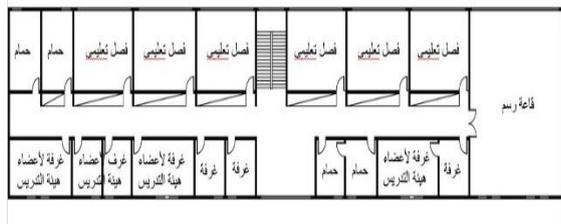
2-5 مبنى قسم الهندسة الكهربائية كدراسة حالة

1-2-1 الوضع الراهن للمبنى

في إطار الاتجاه العام للدولة بتشديد استهلاك الطاقة، وتجديد المنشآت العامة، تم اختيار مبنى قسم الهندسة الكهربائية بكلية الهندسة التابعة لجامعة المنوفية كحالة للدراسة، كما يتضح بالشكل (37)، وهو مبنى مستطيل الشكل، يتكون من دور أرضي وثلاثة أدوار متكررة، والنظام الإنشائي للمبنى هيكل، وتضم الأدوار الأربعة فصول تعليمية وصلات للرسم ومكاتب لأعضاء هيئة التدريس وخدمات، ويخدم المبنى حوالي 800 طالب و90 عضو هيئة تدريس وهيئة معونة. ويبلغ الاستهلاك السنوي للمبنى 504 ألف ك.و.س، ومتوسط فاتورة استهلاك الكهرباء الشهرية حوالي 67 ألف جنيه، وذلك طبقاً للقواتر الرسمية للمبنى من خلال الشركة القابضة لكهرباء مصر، شركة جنوب الدلتا لتوزيع الكهرباء.



أ- الموقع العام

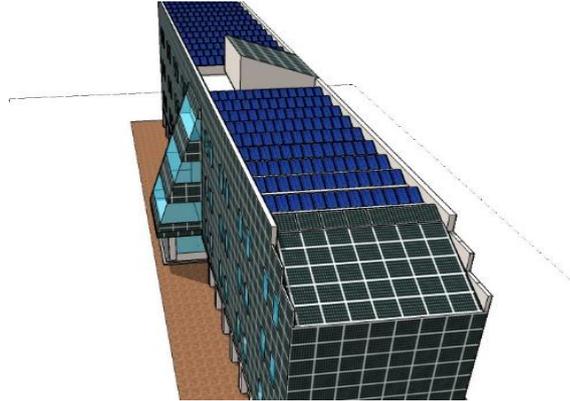


ب- المسقط الأفقي

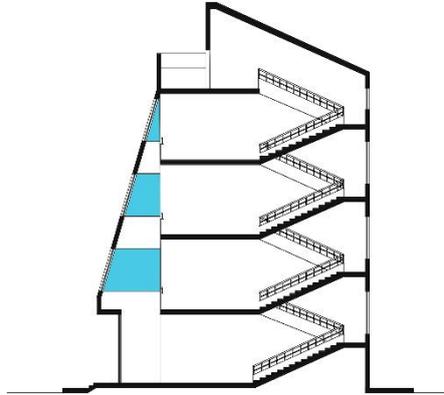
جدول (2) كفاءة إنتاج الكهرباء للمتر المسطح في الواجهات بنظام BIPV المعتمة والنصف شفافة بمدينة القاهرة

الموقع	متوسط الإنتاج (ك.و.س/سنة)	الكفاءة %100	متوسط سعر م ²	متوسط سعر الكهرباء السنوية الناتجة بالجنية المصري	فترة استرداد سعر المتر بالمعادل	العائد الاقتصادي للمتر بعد فترة الاسترداد بالجنية
الواجهات BIPV المعتمة						
الواجهة الجنوبية	200	%100	150 يورو بما يعادل 4500 جنيه مصري	320	14	5120
الواجهة الشرقية	180	%91		288	16	4032
الواجهة الغربية	172	%87		275	16	4032
الواجهة الشمالية	75	%38		120	37	-
الواجهات BIPV نصف شفافة						
الواجهة الجنوبية	250	%100	180 يورو بما يعادل 5400 جنيه مصري	400	14	6400
الواجهة الشرقية	225	%91		360	15	5400
الواجهة الغربية	210	%87		336	16	4704
الواجهة الشمالية	90	%38		144	37	-

أ. بالنسبة لسطح المبنى: تم تثبيت ألواح بنظام BAPV بزواوية ميل 28⁵ تجاه الجنوب على كامل سطح السطح، وهي أفضل زاوية ميل للاستفادة المثلى من أشعة الشمس، على ارتفاع مترين من منسوب السطح، وتم عمل دروة للسطح بارتفاع 2م، مما يعمل على عدم ظهور شكل الألواح المائلة المتكررة في واجهة المبنى، كما يتضح بالشكل (40). وتم استخدام لوح بمقاس (670×1340مم)، بمساحة إجمالية 910م²، لتنتج طاقة سنوية تبلغ 209 ألف ك.و.س، كما تم زيادة ارتفاع شخشيخة السلم، وعمل ميل لسطح الشخشيخة بزواوية 24⁵ باتجاه الشرق لتثبيت ألواح BIPV على السطح، كما يتضح بالشكل (41)، بمساحة إجمالية حوالي 62م²، لتنتج طاقة سنوية 7600 ك.و.س.



شكل (40) لقطة لسطح مبنى دراسة الحالة بعد تثبيت الألواح على السطح



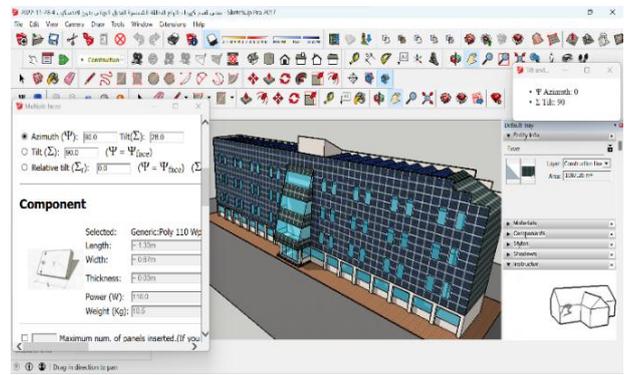
شكل (41) قطاع بمبنى دراسة الحالة بوضوح ميل شخشيخة السلم وتعديل المدخل لتثبيت الألواح عليه

بالنسبة للواجهات: تم تثبيت ألواح معتمدة من اللون الأسود بنظام BIPV على كامل سطح واجهات المبنى، لتعطي أفضل كفاءة لإنتاج الطاقة، والألواح بمقاس (600×600مم)، وتم تثبيت ألواح نصف شفافة على النوافذ، وقد تم إعادة توزيع النوافذ في المبنى لتلائم مع الموديول الإنشائي وموديول الألواح، وتمت معالجة الواجهات كما يلي:-

أ. الواجهة الشرقية: تبلغ مساحتها 1137م²، تم تعديل توزيع نوافذ الجزء الخاص بالسلم لكسر أفقية المبنى، تم تثبيت لوح على كامل سطح المباني بالواجهة بمساحة 710م²، كما يتضح بالشكل (42)، لتنتج طاقة سنوية 90 ألف ك.و.س، وتم تثبيت 230 لوح نصف شفاف على النوافذ بمساحة 427م² لتنتج طاقة سنوية 78 ألف ك.و.س، أي أن إجمالي الطاقة السنوية المنتجة من الواجهة الشرقية 168 ألف ك.و.س.

5-2-2-2 المعالجة الافتراضية لحالة الدراسة

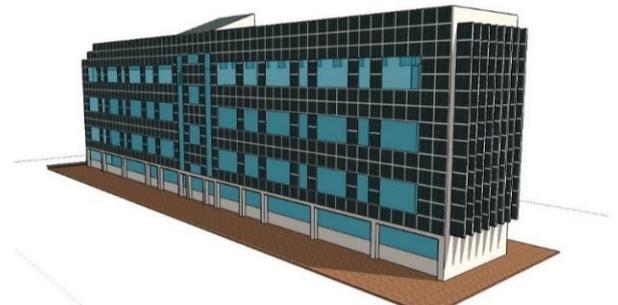
انتهج البحث المنهج التجريبي من خلال عمل محاكاة رقمية، بافتراض تجديد مبنى حالة الدراسة باستخدام نظام BIPV، وتم استخدام برنامجي Auto CAD 2019 و Adobe Photoshop cc 2019 لإعداد الرسومات المعمارية للمبنى، واستخدمت المعالجة الافتراضية للمحاكاة أداة Skelion v 5.4.1، وهي أداة تستخدم في برنامج Sketch Up Pro 2017، لتحديد وحساب الطاقة الناتجة عن الألواح حال تثبيتها في واجهات و سطح المبنى، كما تم استخدام برنامج Easy PV لحساب الطاقة الكهربائية المولدة من ألواح الطاقة الشمسية، وتم استخدام برنامج Solar estimate لتقدير حسابات الطاقة الشمسية الدقيقة لنموذج المحاكاة، كما يتضح بالأشكال (38) و (39)، وتم إجراء المحاكاة على جهاز Dell Inspiron Core (TM) i7-1165G7 @2.80GHz 1.69 GHz. وتم إجراء المحاكاة وتوزيع الألواح توليد الطاقة الشمسية على غلاف المبنى بنظام BIPV كالتالي:-



شكل (38) شاشة تطبيق Sketch Up Pro ومستخدم من خلاله أداة Skelion V 5.4.1 لتحليل مواضع الألواح والطاقة المنتجة



أ. لقطة منظورية للواجهتين الجنوبية والغربية بعد التجديد



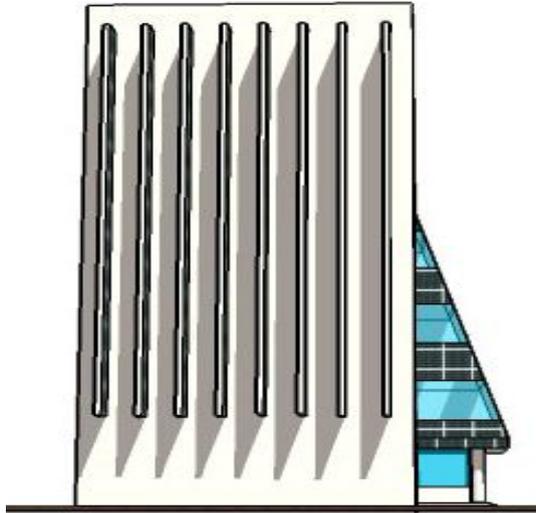
ب- لقطة منظورية للواجهتين الشمالية والشرقية
شكل (39) مبنى دراسة الحالة بعد التجديد المقترض

د. **الواجهة الشمالية:** تبلغ مساحتها 185م²، نظراً لكون الواجهة الشمالية أقل واجهة في إنتاج الطاقة، بسبب عدم وجود أشعة مباشرة ساقطة عليها، ولذلك تم عمل 8 أسلحة رأسية عمودية على الواجهة، وتبلغ أبعاد السلاح الواحد (1,2 × 13,8م)، لكي تتعامل مع أشعة الشمس من جهتي الشرق والغرب، وهذه الأسلحة مغطاة بالألواح المعتمة السوداء من جهتي الشرق والغرب، بعدد 423 لوح في الجانب الواحد، بإجمالي 846 لوح، وبمسطح 150م² من كل الجهتين، كما يتضح بالشكلين (45) و(46)، وبالتالي تنتج الجهة الشرقية طاقة تبلغ 8000 ك.و.س، وتنتج الجهة الغربية طاقة سنوية تبلغ 7800 ك.و.س، أي أن الطاقة الإجمالي السنوية الناتجة عن الواجهة الشمالية تبلغ 15800 ك.و.س. وفي حالة تثبيت الواح مباشرة على الواجهة الشمالية مباشرة بمساحة 185م²، فسوف تنتج تلك الألواح حوالي 9000 ك.و.س/سنة، وهذا إنتاج منخفض مقارنة باستخدام الأسلحة العمودية.



شكل (42) الواجهة الشرقية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد

ب. **الواجهة الغربية:** تبلغ مساحتها 1115م²، تم تعديل الجزء الخاص بالمدخل ليكون بارزاً بزواوية ميل 70° بشكل مائل عن الواجهة ليكسر نمطية الواجهة، وتم تثبيت 2500 لوح أسود على كامل مسطح المباني بالواجهة بمساحة 920م²، كما يتضح بالشكل (43)، لتنتج طاقة سنوية 112 ألف ك.و.س، وتم تثبيت 132 لوح نصف شفاف على النوافذ بمسطح 195م² لتنتج طاقة 33 ألف ك.و.س/سنة. أي أن إجمالي الطاقة السنوية المنتجة من الواجهة الغربية 145 ألف ك.و.س.

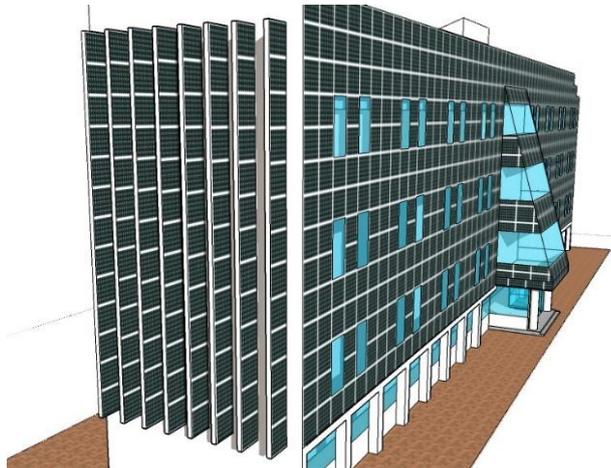


شكل (45) الواجهة الشمالية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد



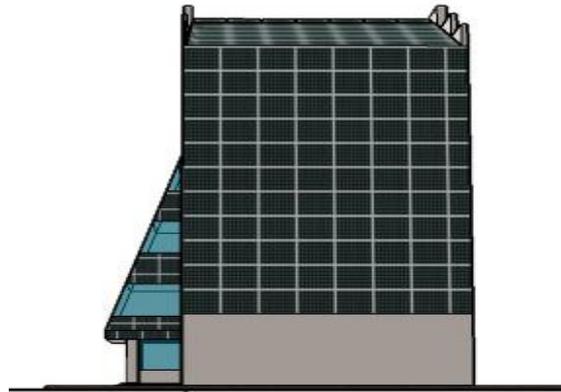
شكل (43) الواجهة الغربية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد

ج. **الواجهة الجنوبية:** تبلغ مساحتها 158م²، تم عمل جزء مائل من منسوب بلاطة السطح وحتى الدروة بزواوية ميل 28° بمسطح 27م² للاستفادة القصوى من أشعة الشمس، وتم تثبيت 514 لوح على كامل مسطح المباني بالواجهة المبنى بمساحة 185م²، كما يتضح بالشكل (44)، لتنتج طاقة سنوية 26 ألف ك.و.س.



شكل (46) تفصيله الأسلحة العمودية على الواجهة الشمالية لمبنى دراسة الحالة

وبالتالي يصبح إجمالي مسطحات الألواح المستخدمة في واجهات المبنى 2715م²، أما إجمالي مساحة ألواح السطح 910م²، وسيكون إجمالي إنتاج الطاقة حوالي 571 ألف ك.و.س/سنة، بمتوسط تكلفة حوالي 527 ألف يورو، أي أن المبنى سوف ينتج طاقة نظيفة تغطي استهلاكه، وبقيض نحو 67 ألف ك.و.س في السنة، بقيمة 107 ألف جنيه، ويتم توصيل الكهرباء الزيادة الناتجة إلى الشبكة العامة للكهرباء، ومن خلال تحليل دراسة الجدوى الخاصة بالنظام وجد أن تكلفة انشاء وتنفيذ النظام سيتم استردادها في خلال 20 سنة وفقاً لأسعار الكهرباء الحالية، كما يتضح بالجدول (3).



شكل (44) الواجهة الجنوبية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد



شكل (48) مبنى قسم شرطة أول شرم الشيخ

المصدر: <https://www.mobtada.com/egypt/944680/>

أما في حالة قسم أول شرم الشيخ كما يتضح بالشكل (48) فجميع واجهات المبنى مكشوفة، مما يعني إمكانية تثبيت النظام على الأربع واجهات، وأيضاً من المنشآت العامة التي تم تجديدها مؤخراً مستشفى هيئة السكك الحديدية، كما يتضح بالشكل (49)، ويفرض استخدام نظام BIPV في تجديد المبنيين، ستكون الطاقة الناتجة لكليهما كما يتضح بالجدول (4).

شكل (49) مبنى مستشفى السكة الحديد بشارع الجلاء برمسيس، القاهرة، مصر، بعد التجديد
المصدر: <http://www.erved-eg.org/>

جدول (4) كفاءة إنتاج الكهرباء لبعض المباني بعد التجديد بنظام BIPV ومتوسط تكلفة التنفيذ

متوسط تكلفة التنفيذ باليورو	متوسط الإنتاج (ك.و.س/سنة)	المساحة م ²	الموضع
قسم شرطة أول شرم الشيخ			
42000	33000	252	الواجهة الجنوبية
81000	62000	490	الواجهة الشرقية
81000	61000	490	الواجهة الغربية
42000	12000	252	الواجهة الشمالية
246000	168000	1484	الإجمالي
مستشفى السكة الحديد برمسيس			
980100	831000	5940	إجمالي الواجهات
242200	332000	2422	إجمالي السطح
1222300	1163000	8362	إجمالي المبنى

جدول رقم (3) كفاءة إنتاج الكهرباء للمبنى بعد التجديد بنظام BIPV

الموضع	متوسط الإنتاج (ك.و.س/سنة)	متوسط سعر الكهرباء بالجنية المصري	متوسط تكلفة التنفيذ باليورو
السطح	216000	346560	97000
الواجهة الجنوبية	26000	41600	28000
الواجهة الشرقية	168000	268800	184000
الواجهة الغربية	145000	232000	173000
الواجهة الشمالية	16200	25920	45000
إجمالي المبنى	571000	914880	527000

وينطبق نفس أسلوب المحاكاة الافتراضية على أمثلة أخرى، نجد إنه خلال العقد الأخير تم تجديد العديد من المنشآت العامة في مصر، ومنها مباني أقسام الشرطة في أغلب المحافظات، حيث تم كسوة واجهات المبنى بحوائط ستائرية Cladding Walls، وهي مادة لمساء تشابه مثل ألواح نظام BIPV، ومن المفارقة إن الحوائط الستائرية المستخدمة كانت باللونين الأزرق والرمادي، وهي نفس الألوان ذات نطاق التردد والطول الموجي المنخفض، وتعتبر ذات كفاءة عالية في إنتاج الطاقة الكهربائية، وبالتالي كان من الأوفق استخدام نظام BIPV في تجديد هذه المنشآت، مما كان سيفيد في إنتاج الطاقة الكهربائية، طبقاً لمبادرة الدولة لترشيد استهلاك الطاقة في المنشآت العامة التي أطلقتها في عام 2022، فضلاً عن توفير عزل الضوضاء والحرارة للمبنى. ويفرض استخدام نظام BIPV لتجديد هذه المنشآت، ففي حالة قسم شرطة الجزيرة تبلغ مساحة الواجهة الرئيسية الشرقية حوالي 190م²، كما يتضح بالشكل رقم (47)، مما ينتج طاقة سنوية تبلغ 24 ألف ك.و.س، وبتكلفة تنفيذ تبلغ 48 ألف يورو.



شكل (47) مبنى قسم شرطة الجزيرة

المصدر: <https://www.albawabhnews.com/4714416/>

8- التوصيات

- [5] Fräss-Ehrfeld, C. (2009). Renewable energy sources: A chance to combat climate change (Vol 1). Kluwer Law International.
- [6] Denholm, P. (2004). "Environmental and policy analysis of renewable energy enabling technologies" thesis master of science in architectural studies of Wisconsin university.
- [7] Heinstejn, P. Ballif, C and Aebi, P. (2013). Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potential, Barriers and Myths. Expert View from Science. Green; 3(2): 125–156.
- [8] World data bank, 2023 <https://data.worldbank.org/indicator>
- [9] Bishay, A. (2010). "Future Intermediate Sustainable Cities", a message to future generations. First International Conference Sustainability and the Future: BUE the British University in Egypt, 23-25 November.
- [10] C. Hoyer-Klick, et al. Solar Atlas for the Southern and Eastern Mediterranean, in: ISES Solar World Congress 2011.
- [11] National Investment Bank. http://www.nib.gov.eg/Arabic/ACHIEVEMENT_A/energy3-a.html. at 1-2-2023. 2:00 pm.
- [12] Ogunkeye, O. (2017), The advent of Building Integrated Photovoltaic-BIPV and Building Applied Photovoltaic- (BAPV) as standalone off grid clean energy source in Nigeria.
- [13] Report IEA-PVPS T15-04, 2018. Photovoltaic Power Systems Program international definitions of BIPV.
- [14] Tabriz, S. Fard, F. Partovi, N. (2016). Review of architectural day lighting analysis of photovoltaic panels of BIPV with zero energy emission approach. Res. J. Appl. Sci. 11, 735–741.
- [15] Reijenga, T. H. & Kaan, H. F. (2011). PV in Architecture. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Second ed.: John Wiley & Sons.
- [16] Albadry, S. Tarabieh, K. Sewilam, H. (2017). Achieving Net Zero-Energy Buildings through Retrofitting Existing Residential Buildings Using PV Panels. International Conference – Alternative and Renewable Energy Quest, AREQ 2017, 1-3 February, Spain.
- [17] Agathokleous, R. Kalogirou, S. (2018). Part I: Thermal analysis of naturally ventilated BIPV system: Experimental investigation and convective heat transfer coefficients estimation. SolarEnergy169-673–681. www.elsevier.com/locate/solener
- [18] Report IEA PVPS T15-06:2019. Compilation and Analysis of User Needs for BIPV and its Functions.
- [19] Reijenga T. (2000). "Photovoltaic Building Integration Concepts – What do Architects need?" Proc. IEA PVPS Task7 Workshop Lausanne Featuring A Review of PV Products, IEA PVPS Task7, Halcrow Gilbert, Swindon.
- [20] Saretta, E. Bonomo, P. Frontini, F. (2017). "Active BIPV Glass Facades: Current Trends of Innovation"; GPD Glass Performance Days - Conference Proceedings, pp.2-7. <https://www.glassonweb.com/article/active-bipv-glass-facades-current-trends-innovation>.
- [21] Peharz, G. Ulm, A. (2018). "Quantifying the influence of colors on the performance of c-Si photovoltaic devices", Renewable Energy 129, 299-308.
- [22] High-Tech Architecture. <https://www.rethinkingthefuture.com/architectural-styles/a4707-an-overview-of-high-tech-architecture/> at 20-9-2022. At 1:00 Pm.
- [23] Klampaftis, E. et al. (2015). Integration of Color and Graphical Design for Photovoltaic Modules Using Luminescent Materials. IEEE J Photovolt.5:584-90.
- [24] Suhaimi, S. et al. (2015). "Materials for Enhanced Dye-sensitized Solar Cell Performance: Electrochemical Application"; Int J Electrochem Sci 10(4) 2859 - 2871.
- [25] Menno van den Donker, SEAC, 2018, private correspondence.
- [26] Transparent solar panels. <https://www.msn.com/areg/news/techandscience/>. at 10-8-2022. at 7:30 Pm.
- [27] High-Tech Architecture Style. <https://www.rethinkingthefuture.com/architectural-styles/a4707-an-overview-of-high-tech-architecture/> at 20-9-2022. at 1:00 Pm.
- [28] High-Tech Architecture. <https://sabukaru.online/articles/high-tech-architecture> at 20-9-2022. at 2:00 Pm.
- [29] Davies, C. (1988). High Tech Architecture, Rizzoli International Publications, USA, Pp 6-21
- [30] High-Tech Architecture Guide.

في إطار نتائج البحث ومناقشتها يمكن للبحث أن يطرح مجموعة من التوصيات الهامة قد تساعد على توطين النظام في مصر، وترتبط هذه التوصيات بالعديد من الهيئات والمؤسسات والوزارات في مصر، ومن أهم هذه التوصيات ما يلي:-

أ. أقسام العمارة بالجامعات المصرية: يجب إعادة تخطيط مقررات نظريات العمارة والتصميم المعماري والتصميمات التنفيذية، وخاصة في السنوات الدراسية المتقدمة، لاستيعاب فكرة استخدام نظام BIPV ضمن مشروعات الطلبة، لتدريبهم على كيفية التعامل مع النظام مستقبلاً. فضلاً عن إنشاء البرامج البنائية بين أقسام العمارة والكهرباء للتوسع في دراسة النظام.

ب. مجلس الوزراء: عمل برنامج مشترك ما بين وزارات الإسكان والكهرباء والبحث العلمي، لإعادة تجديد واجهات المنشآت العامة في مصر، وتحديد إمكانية استخدام نظام BIPV بها، مما سيفيد في ترشيد استهلاك الطاقة في الجهاز الحكومي، وهو ما يندرج ضمن أهداف الدولة.

ج. بنك الاستثمار القومي: عمل دراسات لإمكانات تقديم قروض طويلة المدى مثل قروض الرهن العقاري بالاشتراك مع البنوك القومية لتمويل المشروعات المستخدمة لنظام BIPV، سواء كانت هذه المشروعات لمنشآت جديدة أو معاد تجديدها.

د. وزارة الصناعة: يجب تدعيم برامج لتوطين صناعة ألواح نظام BIPV في مصر، وتقديم المساعدات الفنية والمالية اللازمة لذلك، وقد يستدعي الأمر إنشاء شركات تابعة للدولة لتصنيع وتنفيذ النظام، وبعد نجاحها يمكن بعد ذلك طرح أسهمها في البورصة.

هـ. مركز بحوث البناء والإسكان: تكليف المركز بوضع كود كيفية تطبيق استخدام نظام BIPV في مصر، وذلك بالتعاون مع استشاريين دوليين ومحليين متخصصين في هذا المجال. ومن الممكن إنشاء مكتب استشاري تابع للدولة يتولى تصميم وإعادة تجديد المنشآت بنظام BIPV، وفي هذا الإطار قد يكون من المفيد إعادة إحياء دور المكتب العربي للتصميمات والاستشارات الهندسية التابع لوزارة الإسكان من جديد بالتعاون مع وزارة الكهرباء لدعم وتنفيذ النظام. و نقابة المهندسين وجمعية المهندسين المصرية: توفير برامج لتدريب المعماريين والإنشائيين والمقاولين للتعرف على كيفية استخدام نظام BIPV، وذلك بالتعاون من المتخصصين في المجال، فضلاً عن توفير ندوات للجمهور العام لنشر المعرفة بالنظام.

9- الخلاصة

يتضح مما سبق أن نظام BIPV بحاجة إلى مزيد من البحث والتطوير المستمر، لأنه سيؤدي إلى حلول وتصميمات واعدة في حل أزمة الطاقة في مصر وخاصة في قطاع العمران، ولذلك من الضروري التعزيز المستمر في محاولة زيادة كفاءة تلك الألواح الشمسية، وخفض تكاليف الإنتاج، لتوسيع استخدامها في المباني لتوليد طاقة نظيفة، مع الاهتمام بمقاس الألواح الشمسية عند تصميم موديل الواجهة، وبالتالي يجب اختيار مقاس الألواح المناسب، مع تحديد أماكن ومقاس الفتحات وفقاً لهذا الموديل وخاصة عند تكامل الألواح مع الغلاف الخارجي للمبنى، فضلاً عن أن الوحدات الكهروضوئية المدمجة في الواجهة مناسبة لتوليد الطاقة النظيفة، حتى يصبح المبنى آلة لتوليد الطاقة.

Funding: The authors state that this research has not received any type of funding.

Conflicts of Interest: The authors declare there is no conflict of interest.

10- قائمة المراجع

- [1] Pérez-Lombard, J. Pout, C. (2008). "A review on buildings energy consumption information," Energy Build., vol. 40, pp. 394–398.
- [2] Edenhofer, O. et al. (2011). Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge: Cambridge University Press. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139151153>
- [3] Key World Energy Statistics. <https://prod.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption>. at 16-6-2022, at 1:00 Am.
- [4] Iwaro, J. Mwasha, A. (2010). A review of building energy regulation and policy for energy conservation in developing countries.

- [34]Heinstein, P. Ballif, C and Aebi, P. (2013) Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potensial, Barriers and Myths. Expert View from Science. Green; 3(2): 125–156.
- [35]BIPVBOOST Cost-reduction roadmap for the European BIPV sector. October 2020.
- [36] Peharz, G, Ulm, A. (2018). Quantifying the influence of colors on the performance of c-Si photovoltaic devices. Renewable Energy 129. PP299 to 308.
- [37] Karakosta, C, Ioannou, A. &Flamos, A. (2014, October). Mobilizing and transferring knowledge on post-2012 climate policy. In Proceedings of the 7th International Scientific Conference on Energy and Climate Change, Athens, Greece (pp. 8-10)
- [31]WCED. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. at July 28, 2016. <http://www.un-documents.net/A372BC4E-993E-4C10-B3689E75816E59DB/FinalDownload/DownloadId1990161B7AFC5CB358F7280210D7A48F/A372BC4E-993E4C10-B368-9E75816E59DB/our-common-future.pdf>. at 20-9-2022. at 2:15 Pm.
- [32]Anthopoulos, L. (2015). Defining smart city architecture for sustainability (pp. 140–147). Presented at the 14th electronic government and 7th electronic participation conference (IFIP).
- [33] Emekci, S. (2021). Sustainability in Architecture: Low-tech or High-tech? 4 th International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism (ICCAUA) 20-21 May. <https://www.dezeen.com/2019/11/04/high-tech-architecture-guide/>. at 20-9-2022. at 1:15 Pm.