Journal of Engineering Research

Volume 7 | Issue 2 Article 39

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 39.
Available at: https://digitalcommons.aaru.edu.jo/erjeng/vol7/iss2/39

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@aaru.edu.jo, marah@aaru.edu.jo, u.murad@aaru.edu.jo.

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 2, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

# 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 عيسى[3]

[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

**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، وفى 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، والتنبؤ 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. ينتهج 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 الالواح 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 مقاس الألواح الشمسية عنصر 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 لتعطى مساحة أكبر للواجهات، وبالتالي زيادة إنتاجية الطاقة.

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

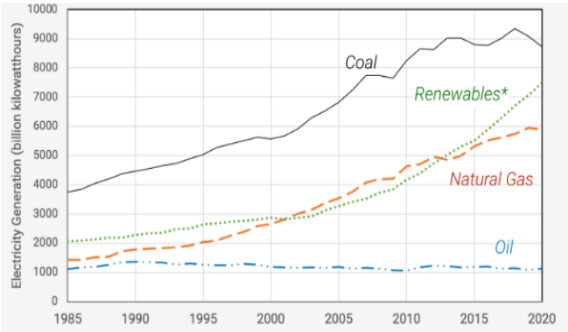
**Abstract**

**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 Voltic (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 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 لأى 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 تنامى استهلاك الطاقة الكهربية بمقدار الضعف تقريباً خلال العقدين الماضيين فقط، كما يتضح بالشكل (1). وللأسف ارتبط تزايد استهلاك الطاقة بارتفاع تلوث البيئة، من خلال المعدلات المتزايدة للانبعاثات الكربونية كنواتج لاحتراق الوقود الأحفوري، حيث تزايدت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنسبة 43٪، بمتوسط زيادة سنوية في حدود 2٪ [1].

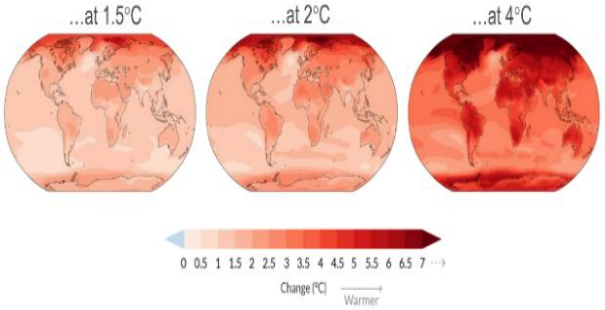



شكل (1) تطور استخدام الكهرباء حسب مصادر الطاقة المختلفة
المصدر: https://prod.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

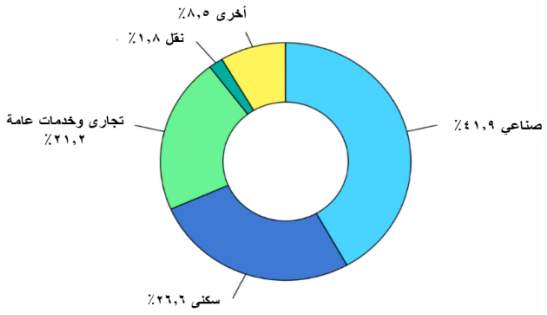
وتشير التوقعات لازدياد المتوسط السنوي إلى 3.2٪ في منطقة الشرق الأوسط وحدها في العقود المقبلة. وهذا بدوره أدى إلى التغيرات المناخية التي نشهدها الآن، والمتمثلة في ظاهرة الاحتباس الحراري، وارتفاع درجة حرارة الأرض، كما يتضح بالشكل (2)، وتوابعها من تصحر وجفاف، وانصهار جليد القطبين، وارتفاع منسوب المياه، وحدوث أزمات في التنوع البيولوجي والمحاصيل الزراعية ... الخ [2]، مما أصبح ينذر بالانهيار 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 الاحترار 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 الى 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].




شكل (4) استهلاك الكهرباء العالمي حسب القطاع لعام 2021
المصدر:
https://prod.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption.

وفي هذا الصدد يصف "لوكوربوزيه" المسكن إنه آلة للسكنى، 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 يعنى أن ركائز العمارة الناجحة سوف تعتمد على الوظيفة والإنشاء وإنتاج الطاقة المستدامة والجمال والاقتصاد.
وهنا يجب أن نتذكر أن عمارة الحداثة 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 تهدم العديد من مدن أوروبا، فأصبحت عمارة الحداثة الحل الوحيد السريع لإعادة بناء هذه المدن، وإيواء المشردين جراء الحرب. ونحن اليوم على أعتاب 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 الانسان للكهرباء يزداد بشكل مطرد منذ بدايات القرن العشرين وحتى الآن، لأن رفاهية الانسان 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]، فبالتالي يجب أن يتجه التفكير نحو دراسة المباني المنتجة للطاقة، لأن المباني الموفرة للطاقة اليوم سوف تستهلك طاقة غداً، لذلك نحن بحاجة للتفكير في تصميم المبنى بطريقة واقعية مختلفة، وأن نتعامل مع المبنى على إنه مصدر لتوليد الطاقة، وليس مجرد فراغ معماري.

## 1-1 مشكلة البحث

أصبح استخدام نظام BIPV أو الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى لإنتاج الطاقة الكهربية 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، ويطرح 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؟

## 1-2 أهداف البحث

أ. استعراض الخلفية النظرية لنظام BIPV، وكيفية تكامل الألواح الشمسية المولدة للكهرباء مع غلاف المبنى الخارجي.
ب. 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.
ج. التنبؤ بلغة التعبير المعماري التي ستنشأ مع استخدام نظام BIPV.
د. التوصل لمجموعة من التوصيات يمكن أن تمهد لتطبيق نظام BIPV في مصر.

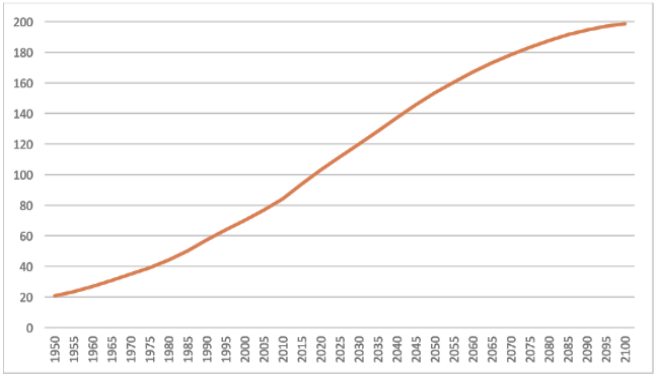
## 1-3 أهمية البحث

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

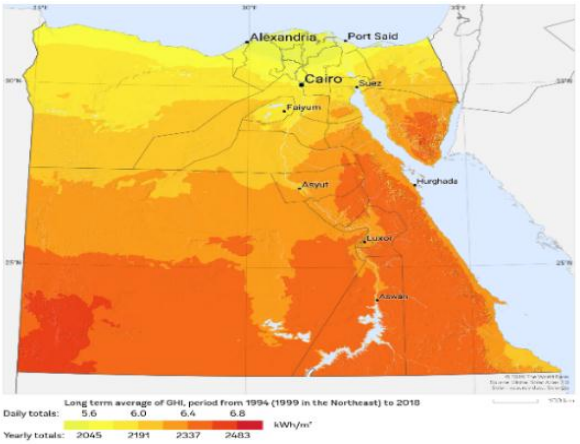
DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

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 الكهربية، 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 ضغوطاً هائلة 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 الى 2100
المصدر: http://www.zohry.com/pubs/EGYMIG-WP01-2018.pdf




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

وفى إطار التعامل مع الطاقة الشمسية تعد مصر من الدول ذات المعدل العالي للسطوع الشمسي بسبب موقعها الجغرافي، حيث يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي العمودي اليومي من 5.6 إلى 6.8 ك.و.س / م$^2$، ويتراوح الإشعاع المباشر للشمس من 2045 إلى 2483 ك.و.س/م$^2$ سنوياً، وذلك بمتوسط قدرة من 9 إلى 11 ساعة في اليوم [10]، كما يتضح بالشكل (6).

ومن جهة أخرى فأنه 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، فلابد من مساعدة دول الجنوب، التي لا تمتلك تقنيات وخبرات الطاقة الجديدة، والمساعدة على التصنيع المحلى لهذه التقنيات.

وبذلك أصبحت تقنية الطاقة الشمسية تتمتع بميزة نسبية مهمة في مصر، وهي إنها ذات تقنية متاحة، فضلاً عن توافر السطوع الشمسي 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 معداتها محلياً بحيث تمثل نقطة ارتكاز وطنية لاستخدام مصادر الطاقة النظيفة والمتجددة، ومن تلك المشاريع إنارة 211 قرية وتجمع سكنى بواسطة نظم الخلايا الفوتوفولطية بقدرة 2 ميجا وات، وإنشاء المحطة الشمسية بالكريمات بقدرة 140 ميجا وات، وعدد من المشاريع الأخرى مثل محطة [11]، وفى إطار ما سبق تتمثل أهمية البحث فيما يلى:

- 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

يندرج 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. وفى 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

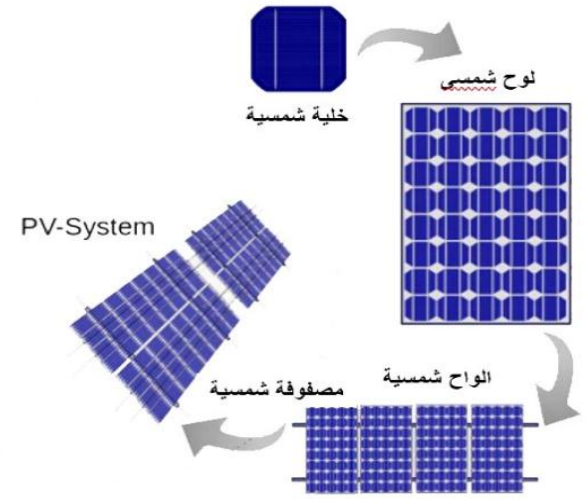
ترتكز فكرة الخلايا الكهروضوئية Photo voltaic cells (PV) بصفة عامة على تحويل الضوء أو الإشعاع الشمسي إلى تيار كهربي مستمر DC من خلال التأثير الكهروضوئي لبعض أشباه الموصلات كبلورات السيليكون، ويستخدم النظام الكهروضوئي مجموعة من الألواح، تضم عدد من الخلايا الشمسية، كما يتضح بالشكل (7). وفى منتصف الثمانينات 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 الكهربية، فضلاً عن إمكانية توصيل التيار الناتج للشبكة العامة لتوزيع الكهرباء.

وانعكس استخدام الخلايا الكهروضوئية على العمارة، من خلال نظم الألواح الشمسية المثبتة بالمبنى Building Applied Photovoltaics (BAPV)، 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 انتاج سنوي للطاقة 176 ميجا.و.س/سنة، كما يتضح بالشكل (9).

أما نظم الالواح 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 الكهربي، 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

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

أي جزء من المبنى يتعرض لأشعة الشمس. وبالتالي ترتكز 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): -

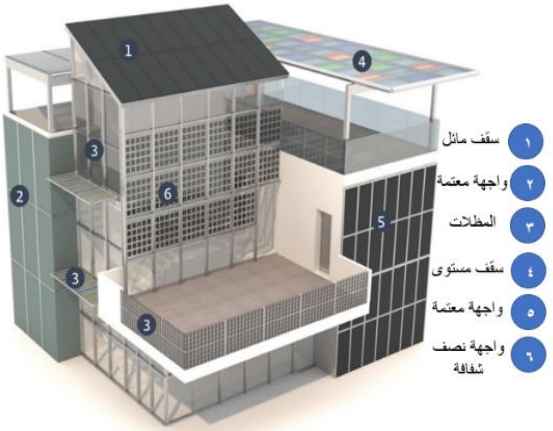



شكل (7) مكونات النظام الشمسي
المصدر:
https://ar.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D9%84%D9%81:From_a_solar_cell_to_a_PV_system.svg.

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

أ- مبنى شركة "فاركو" بمدينة العامرية الإسكندرية 1998

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



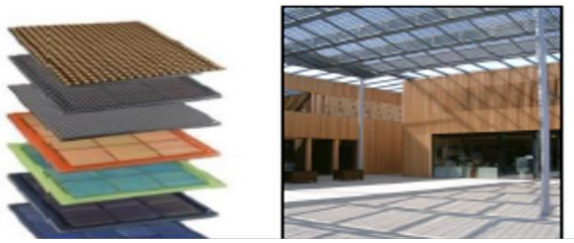

شكل (10) مواضع تثبيت ألواح نظام BIPV في المبنى
المصدر: Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders Status Report 2020

**أ. الأسطح:** يمكن تركيب ألواح BIPV على أسطح المبنى سواء كانت مستوية أو مائلة، حيث تمتاز بسهولة التركيب ومقاومتها للماء والحرارة، وفى حالة السطح المستوى تكون الألواح مثبتة بشكل أفقي كما يتضح بالشكل (11). وفى 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 تغطى 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.onyxsolar.com/all-you-need Professional-Experience-Book-English.pdf

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

شكل (12) تركيب ألواح BIPV بشكل مائل 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 الالواح الشمسية في الأقاليم المصرية حسب الموقع الجغرافي وزاوية ميل الشمس، ففي الأقاليم الشمالية مثل محافظة الإسكندرية من المستحسن وضع الألواح على الأسطح بزاوية ميل 35 $^{5}$ تجاه الجنوب للاستفادة القصوى من أشعة الشمس، اما بالنسبة الى الأقاليم الجنوبية مثل محافظات الصعيد وتكون أفضل زاوية ميل للألواح على السطح 15 $^{5}$ 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.

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

- العزل الحراري والصوتي للواجهات والاسقف، 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 الالواح 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 والامطار والثلج إن وجد [18].
- استخدامه في التظليل كمظلات لبعض فراغات المبنى، أو في الاضاءة 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 الكهربية بشكل مجاني، دون الاعتماد على الشبكة العامة لتوزيع الكهرباء، فضلاً عن تجنب خسائر الفقد في شبكات الكهرباء.

ب. يعتبر عازل جيد للحرارة والرطوبة والصوت.

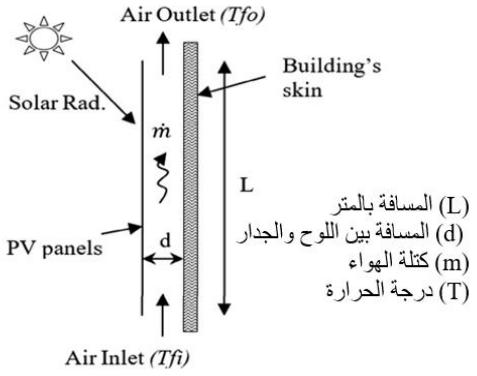
ج. يعتبر النظام مرشح طبيعي لأشعة الشمس الضارة الساقطة على الواجهة، سواء الأشعة تحت الحمراء ذات الأثر الحراري، أو الأشعة فوق البنفسجية ذات الأثر الإشعاعي.

د. إمكانية توفير الإضاءة الطبيعية للمبنى من خلال الألواح الشفافة والنصف شفافة.

ه. 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 مسطحات 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.

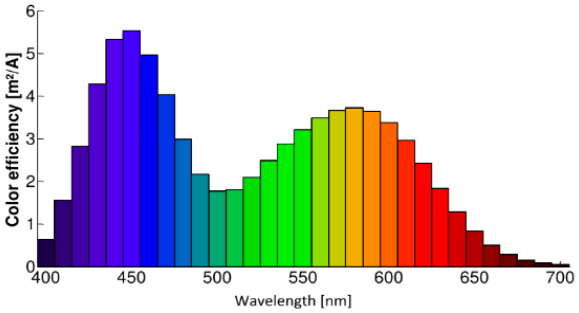
شكل (15) مميزات نظام BIPV
المصدر: الباحث

## 3-1 التعبير المعماري لنظام BIPV

تمثل الواجهة جزء أساسي من غلاف المبنى، ويتم استخدامها بشكل فعال لأغراض الاتصال، وإعطاء المبنى مظهرًا مميزاً، ومع استخدام نظام BIPV في تغطية الواجهات، تتضح مجموعة من المحددات تتحكم في التعبير المعماري للواجهة، لأن تشكيل كتلة الواجهة سوف يؤدى لإلقاء الظلال على الواجهة، مما يستتبعه ضعف توليد الكهرباء، وقلة كفاءة النظام، لذلك يقوم الباحثون ومنتجو النظام بتطوير وحدات خاصة من حيث المظهر لنظام BIPV، حيث يمكن تشكيل الألواح الكهروضوئية بأنماط ملونة ومزخرفة تخفى المادة الاصلية لبلورات الخلايا الكهروضوئية [20]، مما يعطى مظهرًا وتصميمًا فريدًا، وبالتالي يشكل اللون لغة تعبير جديدة عند التعامل مع نظام BIPV، وبالرغم من أن اللون يعد وسيلة ضعيفة نسبياً 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)،

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

الذى 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 الازرق تجديد مبنى مؤسسة "أبي بيير" في باريس حيث يستخدم المبنى الواح BIPV الزرقاء [23]، كما يتضح بالشكل (17). وتتدرج كفاءة ألوان الألواح في توليد الطاقة كما يتضح بالجدول (1). كما يمكن استخدام الخلايا الشمسية سداسية الشكل التي يتم تجميعها لتعطى أشكال منحنية، ويمكنها تقديم حلول متعددة لنظام BIPV في سياق المبنى مقارنة بالألواح التقليدية [24]، كما يتضح بالشكل (18).




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

| اللون | درجة الكفاءة |
|---|---|
| | ٥,٥ |
| | ٥,٣ |
| | ٥ |
| | ٤,٥ |
| | ٤ |
| | ٣,٨ |
| | ٣,٦ |
| | ٣,٦ |
| | ٣,٤ |
| | ٣,٢ |

كما تم تصنيع ألواح BIPV شبه شفافة باستخدام السيليكون غير المتبلور (a-Si)، وبلورات تيلورايد الكادميوم (CdTe)، وبلورات سيلينيد جاليوم الانديوم النحاسية (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 وكبديل للزجاج الملون [25]، كما يتضح بالأشكال من (19) إلى (21).

شكل (18) خلايا شمسية سداسية تعطى 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 المبنى الواح BIPV شبه الشفافة
المصدر: www.onyxsolar.com/mediterranean-foundation-terina

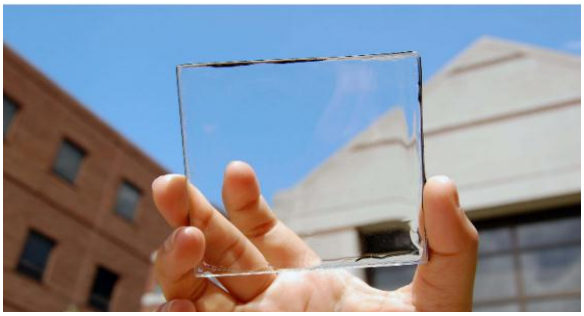
شكل (20) ألواح تيلورايد الكادميوم شبة الشفافة
المصدر: (www.soltechenergy.com)

شكل (21) الواح شبة شفافة، محطة شحن سيارات بزيورخ
المصدر: https://iea-pvps.org/key-topics/iea-pvps-15-r07-coloured-bipv-report/

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

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



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

## 2-3 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 الحداثة، 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 تشكيلياً متكاملاً 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 بموضوعية عالية، وبأسلوب تعبيري واقعي ومبتكر [29]. ومن أهم ملامح هذا الاتجاه ما يلي: -

- تنفيذ المنشأ بقدرات تقنية عالية تعتمد على مواد بناء غير تقليدية، والتأكيد على أسلوب الإنشاء في التعبير المعماري للمبنى.
- الاعتماد على إظهار الأعمال الميكانيكية والكهربية 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 بالتواضع، وهو مصنع "ريلاينس كونترولز" بمدينة "سويندون" في إنجلترا من خلال فريق مكون من المعماريين "ويندى تشيزمان" و"نورمان فوستر" و"ريتشارد روجرز"، وتتكون واجهة المبنى من إطارات مستطيلة، وكمرات رفيعة وواجهات من الصلب الممزوج [30]، كما يتضح بالشكل (23).

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

حتى وصل اتجاه عمارة التكنولوجيا الفائقة إلى ذروته من خلال مبنى "جورج بومبيدو" في باريس للمعماري "ريتشارد روجرز" عام 1977، ومبنى شركة "لويدز" بمدينة لندن للمعماري "ريتشارد روجرز"، ومقر بنك HSBC في هونج 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 مستخدمي الفراغ الداخلي، وتخلق في نفس الوقت علامات مميزة قوية للسياق العمراني للمدينة، كما هو موضح بالأشكال (24) و(25).

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

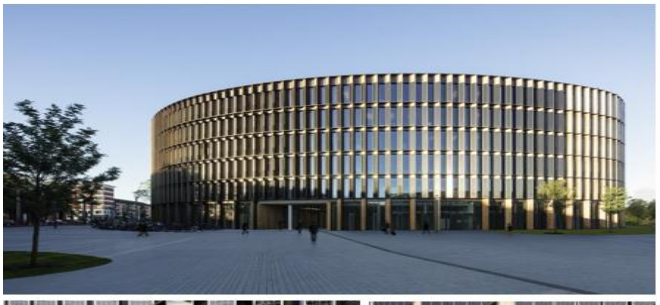
شكل (25) بنك HSBC هونج كونج للمعماري فوستر عام 1986
المصدر: https://www.fosterandpartners.com/projects/hongkong-and-shanghai-bank-headquarters/

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 وفقًا للظروف، وأصبح يعتمد على التطور التقني، وبات من الواضح أن العقود المقبلة ستتسم 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 التقنية 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]. وفى عام 1979 قام المعماري "توماس هيرتزوج" ببناء أول مبنى سكنى 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).

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

شكل (26) مبنى سكنى في ميونخ -1979- المعماري توماس هيرتزوج
المصدر: Building Integrated Photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders Status Report 2020



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

## 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 تغطى استهلاكها، واعتمادها بشكل أساسي على خطوط الغاز الروسية والنفط العربي، أما الولايات المتحدة مازال يوجد لديها مخزون وافر من مصادر النفط والغاز الطبيعي، وتنوعت هذه الامثلة 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 173م$^2$ 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، تغطى كامل استهلاك المبنى. وقد تغيرت لغة التعبير المعماري للمبنى من الشكل البسيط لعمارة الحداثة الاقتصادية إلى أربعة خطوط أفقية رئيسية في الواجهة، من خلال تثبيت الألواح في المسافة الرأسية بين النوافذ.

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 سكنى بمدينة زيورخ بسويسرا عام 2016، كما يتضح بالشكل (29)، تم استخدام ألواح ذات لون رمادي فاتح، وينتج المتر المربع طاقة قصوى بمقدار 110 وات /م$^2$، وتم تثبيت 1545 لوح بمقاسات مختلفة، على مساحة 2870م$^2$ في واجهات وأسطح المبنى، ينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 82 ألف ك.و.س، تغطى 98% من استهلاكه. وقد تم تعديل تصميم الواجهة القديمة تماماً أثناء التجديد، وتغيرت لغة التعبير المعماري للمبنى من عمارة الحداثة 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 سكنى بمدينة زيورخ -2016- للمعماري "فيريدين"
المصدر: https://iea-pvps.org/key-topics/succesful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

(3) إعادة تجديد مبنى مكاتب بمدينة برن بسويسرا عام 2017، كما يتضح بالشكل (30)، حيث استخدمت ألواح رأسية 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 تغطى 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://solarchitecture.ch/wpcontent/uploads/2021/06/Die-Mobiliar_InDesign.pdf

(4) إعادة تجديد مبنى سكن جامعي بمدينة "سلاجيلس" 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، و40م$^2$ من الألواح شبة الشفافة على درابزين الشرفات، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 21 ألف ك.و.س من خلال الواجهة الجنوبية، وبمعدل ستة الاف ك.و.س/سنة من خلال الشرفات. ولم يتغير التعبير المعماري للمبنى بعد استخدام نظام BIPV.

أ- المبنى قبل التجديد

ب- المبنى بعد التجديد
شكل (31) إعادة تجديد مبنى سكن جامعي سلاجيلس بالدنمارك -2017-
للمعماري "كانت"
المصدر: https://iea-pvps.org/key-topics/succesful-building-integration-of-photovoltaics-a-collection-of-international-projects/

## 2-4 أمثلة المنشآت الحديثة

(1) مبنى مكاتب "سولس مارجدين" بمدينة درامين بالنرويج عام 2015، كما يتضح بالشكل (32)، تم استخدام ألواح خضراء شبه شفافة، تم تثبيت الألواح على مساحة 1242م$^2$ في واجهات واسطح المبنى، وتعددت مقاسات الألواح إلى 26 مقاس مختلف، من مقاس (590 × 960 مم) ومقاس (590 × 2790 مم)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 106 ميجا و.س، تغطى 23% من استهلاكه. اعتمد التعبير المعماري على الخطوط الأفقية الممثلة 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 وإنجيبيجورج لين"
المصدر: https://iea-pvps.org/key-topics/succesful-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 (700×700 مم)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 200 ميجا.و.س، تغطى 50% من استهلاكه. واعتمد التعبير المعماري للمبنى على الملمس الخشن من خلال البروز البسيط لبعض الألواح.

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

أ- الواجهة الشمالية

ب- منظر عام للمبنى

شكل (33) مدرسة - كوينهاجن -2017- للمعماري "مولر"

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

(3) مبنى مكاتب "إينزون" بمدينة "بولزانو" بشمال ايطاليا عام 2012، كما يتضح بالشكل (34)، تم استخدام الألواح ذات اللون البنى الداكن وشبه الشفافة، وتم تثبيت الألواح على مساحة 2340م$^2$ في واجهات وسطح المبنى، ويبلغ مقاس اللوح (1020×626مم)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 113 ميجا.و.س، تغطى 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 اداري حديث الانشاء بمدينة بولزانو بشمال إيطاليا -2012- للمعماري "زينو بامبي"

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

(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/م$^2$، تم تثبيت الالواح على مساحة 815 م$^2$ في واجهات وسطح المبنى، وينتج للمبنى طاقة سنوياً بمعدل 32 ألف ك.و.س، تغطى 47% من استهلاكه.

شكل (35) مبنى "سولارسيلو" بمدينة زيورخ بسويسرا -2017- للمعماري "هجين بيرجر فريس"

المصدر: https://solarchitecture.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 904م$^2$ في واجهات وسطح المبنى، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمعدل 37 ألف ك.و.س، تغطى 26% من استهلاكه.

شكل (36) مبنى بمدينة زيورخ بسويسرا -2019- للمعماري "كوفين"

المصدر: https://solarchitecture.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%، وتنوعت 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) الذى 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 الذى 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

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

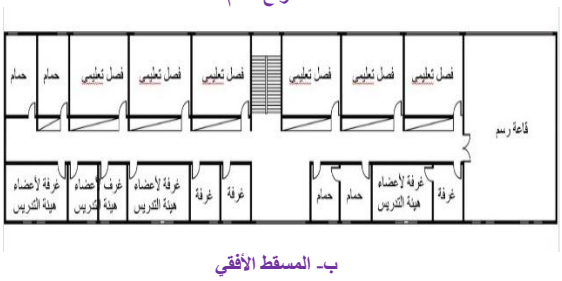
ضرب متوسط سعر الكهرباء السنوية الناتجة في عدد السنين المتبقي بعد فترة الاسترداد، ومع مراعاة أن العمر الافتراض للنظام يتراوح من 25 إلى 35 سنة [35]، وتم حساب عمر النظام في الجدول على أنه 30 عاماً. ونجد أن المتر المربع من الألواح المعتمة ينتج من 75 الى 200 ك.و.س/سنة، وينتج المتر المربع من الألواح نصف الشفافة من 90 الى 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.

## 5-2 مبنى قسم الهندسة الكهربائية كدراسة حالة

### 5-2-1 الوضع الراهن للمبنى

في إطار الاتجاه العام للدولة بترشيد 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 هيكلي، وتضم الأدوار الأربعة فصول تعليمية وصالات للرسم ومكاتب لأعضاء هيئة التدريس وخدمات، ويخدم المبنى حوالي 800 طالب و90 عضو هيئة تدريس وهيئة معاونة. ويبلغ الاستهلاك السنوي للمبنى 504 ألف ك.و.س، ومتوسط فاتورة استهلاك الكهرباء الشهرية حوالي 67 ألف جنيه، وذلك طبقاً للفواتير الرسمية للمبنى من خلال الشركة القابضة لكهرباء مصر، شركة جنوب الدلتا لتوزيع الكهرباء.

أ- الموقع العام



ب- المسقط الأفقي

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

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

| الموضع | متوسط الإنتاج (ك.و.س/سنة) | الكفاءة %100 | متوسط سعر م$^2$ | متوسط سعر السنوية الناتجة بالجنية المصري | فترة استرداد سعر المتر بالعام | العائد الاقتصادي للمتر بعد فترة الاسترداد بالجنية |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ألواح 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 | - |
| ألواح 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 | - |

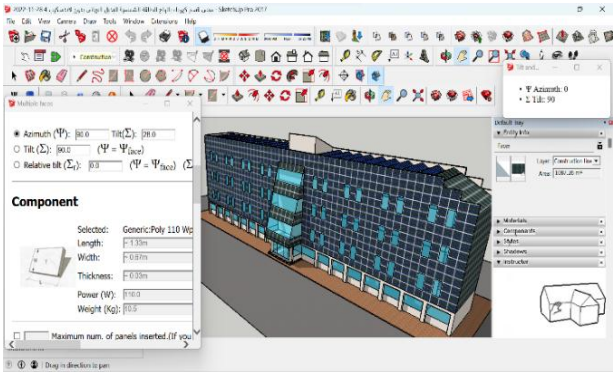
DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. 7 – No. 2, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

### 5-2-2 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 وAdobe 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 وسطح المبنى، كما تم استخدام برنامج Easy PV لحساب الطاقة الكهربية 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 ألواح توليد الطاقة الشمسية على غلاف المبنى بنظام BIPV كالتالي: -

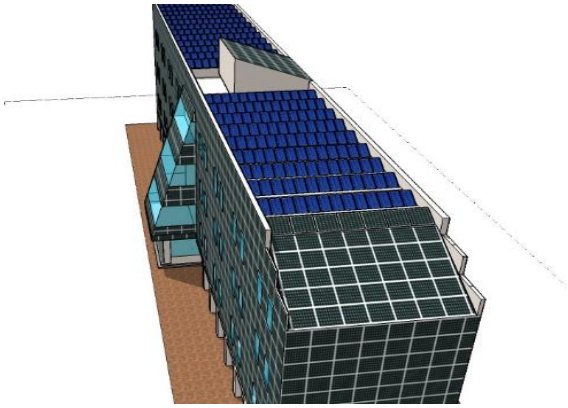



شكل (38) شاشة تطبيق Sketch Up Pro ومستخدم من خلاله أداة Skelion V 5.4.1 لتحليل مواضع الألواح والطاقة المنتجة

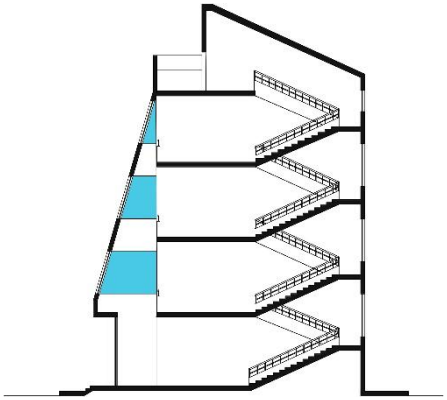
أ- لقطة منظورية للواجهتين الجنوبية والغربية بعد التجديد

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

**أ. بالنسبة لسطح المبنى:** تم تثبيت ألواح بنظام BAPV بزاوية ميل 28 [5] تجاه الجنوب على كامل مسطح 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 273 لوح بمقاس (1340×670مم)، بمساحة إجمالية 910م$^2$، لتنتج طاقة سنوية تبلغ 209 ألف ك.و.س، كما تم زيادة ارتفاع شخشيخة السلم، وعمل ميل لسطح الشخشيخة بزاوية 24 [5] باتجاه الشرق لتثبيت ألواح BIPV على السطح، كما يتضح بالشكل (41)، بمساحة إجمالية حوالي 62م$^2$، 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 يوضح ميل شخشيخة السلم وتعديل المدخل لتثبيت الألواح عليه

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

أ. **الواجهة الشرقية:** تبلغ مساحتها 1137م$^2$، تم تعديل توزيع نوافذ الجزء الخاص بالسلم لكسر أفقية المبنى، تم تثبيت 1970 لوح على كامل مسطح المباني بالواجهة بمساحة 710م$^2$، كما يتضح بالشكل (42)، لتنتج طاقة سنوية 90 ألف ك.و.س، وتم تثبيت 230 لوح نصف شفاف على النوافذ بمسطح 427م$^2$ لتنتج طاقة سنوية 78 ألف ك.و.س، أي أن إجمالي الطاقة السنوية المنتجة من الواجهة الشرقية 168 ألف ك.و.س.

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

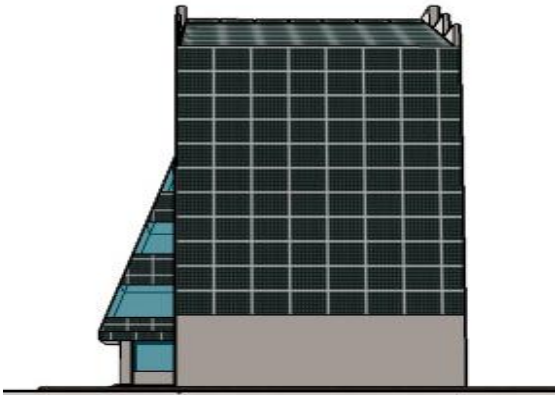
Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

شكل (42) الواجهة الشرقية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد

ب. **الواجهة الغربية:** تبلغ مساحتها 1115م$^2$، تم تعديل الجزء الخاص بالمدخل ليكون بارزاً بزاوية ميل 70 $^5$ بشكل مائل عن الواجهة ليكسر نمطية الواجهة، وتم تثبيت 2500 لوح أسود على كامل مسطح المباني بالواجهة بمساحة 920م$^2$، كما يتضح بالشكل (43)، لتنتج طاقة سنوية 112 ألف ك.و.س، وتم تثبيت 132 لوح نصف شفاف على النوافذ بمسطح 195م$^2$ لتنتج طاقة 33 ألف ك.و.س/سنة. أي أن إجمالي الطاقة السنوية المنتجة من الواجهة الغربية 145 ألف ك.و.س.

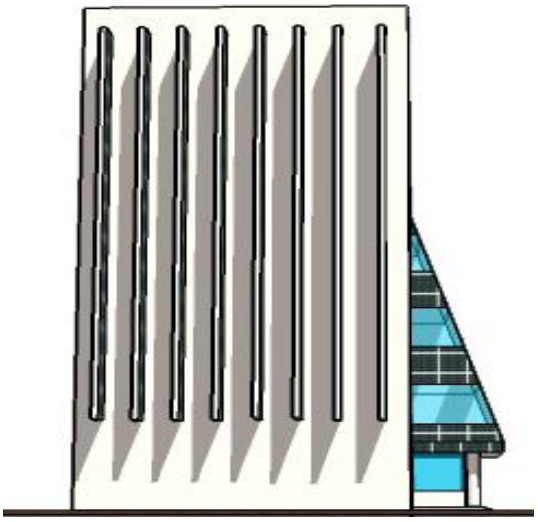
شكل (43) الواجهة الغربية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد

ج. **الواجهة الجنوبية:** تبلغ مساحتها 158م$^2$، تم عمل جزء مائل من منسوب بلاطة السطح وحتى الدروة بزاوية ميل 28 $^5$ بمسطح 27م$^2$ للاستفادة القصوى من أشعة الشمس، وتم تثبيت 514 لوح على كامل مسطح المباني بالواجهة المبنى بمساحة 185م$^2$، كما يتضح بالشكل (44)، لتنتج طاقة سنوية 26 ألف ك.و.س.

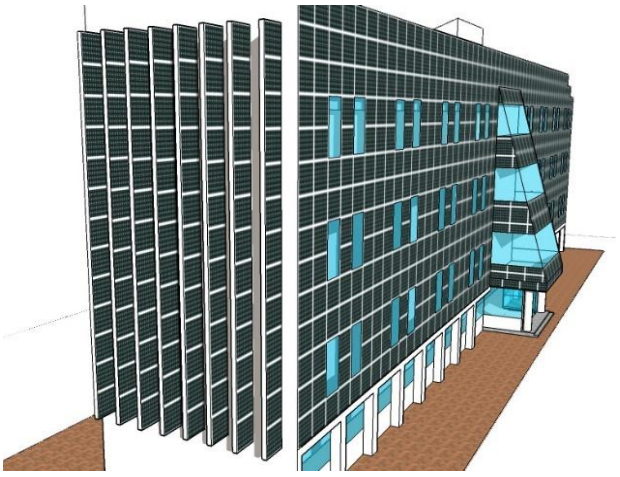


شكل (44) الواجهة الجنوبية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد

د. **الواجهة الشمالية**: تبلغ مساحتها 185م$^2$، نظراً لكون الواجهة الشمالية أقل واجهة في انتاج 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)، لكى 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 150م$^2$ 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. وفى حالة تثبيت ألواح مباشرة على الواجهة الشمالية مباشرة بمساحة 185م$^2$ فسوف تنتج تلك الالواح حوالى 9000 ك.و.س/سنة، وهذا إنتاج منخفض مقارنة باستخدام الأسلحة العمودية.



شكل (45) الواجهة الشمالية لمبنى دراسة الحالة بعد التجديد



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

وبالتالي يصبح إجمالي مسطحات الألواح المستخدمة في واجهات المبنى 2715م$^2$، أما إجمالي مساحة ألواح السطح 910 م$^2$، وسيكون إجمالي أنتاج الطاقة حوالى 571 الف ك.و.س/سنة، بمتوسط تكلفة حوالى 527 ألف يورو، أي أن المبنى سوف ينتج طاقة نظيفة تغطى استهلاكه، ويفيض 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).

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
https://erjeng.journals.ekb.eg/
ISSN: 2356-9441
e ISSN: 2735-4873

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 |

وبتطبيق 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، وهى مادة ملساء تشابه مثل ألواح نظام BIPV، ومن المفارقة إن الحوائط الستائرية المستخدمة كانت باللونين الأزرق والرمادي، وهى نفس الألوان ذات نطاق التردد والطول الموجي المنخفض، وتعتبر ذات كفاءة عالية في إنتاج الطاقة الكهربية، وبالتالي كان من الأوقع استخدام نظام BIPV في تجديد هذه المنشآت، مما كان سيفيد في إنتاج الطاقة الكهربية، طبقاً لمبادرة الدولة لترشيد استهلاك الطاقة في المنشآت العامة التي اطلقتها في عام 2022، فضلاً عن توفير عزل الضوضاء والحرارة للمبنى. وبفرض استخدام نظام BIPV لتجديد هذه المنشآت، ففي حالة قسم شرطة الجيزة تبلغ مساحة الواجهة الرئيسية الشرقية حوالي 190م$^2$، 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 الجيزة
المصدر: https://www.albawabhnews.com/4714416

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 يعنى إمكانية تثبيت النظام على الأربع واجهات، وأيضاً من المنشآت العامة التي تم تجديدها مؤخراً مستشفى هيئة السكك الحديدية، كما يتضح بالشكل (49)، وبفرض 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.ermed-eg.org/

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

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

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

## 6- النتائج

يتضح مما سبق أن نظام BIPV يعد من الأنظمة الواعدة التي ستشكل حلاً جوهرياً لحل أزمة الطاقة النظيفة بدرجة محسوسة، وخاصة في قطاع العمران، ولكن اتضح من الدراسة التطبيقية بعض النتائج الهامة المرتبطة بالإجابة على سؤال البحث، في إطار معرفة المحددات التصميمية والتعبيرية التي تحكم استخدام نظام BIPV في مصر، وكيف يمكن أن تؤثر على لغة التعبير المعماري للمبنى، وتتمثل هذه النتائج فيما يلي: -

أ. أصبح مقاس الألواح الشمسية عنصراً أساسياً عند تصميم موديول الواجهة، وبالتالي يجب اختيار مقاس الألواح المناسب، مع تحديد أماكن ومقاس الفتحات وفقاً لهذا الموديول، كما يجب أن يتم تحديد هذا الموديول في وقت مبكر من تصميم المبنى، حتى يتفق مع الموديول الإنشائي.

ب. اتضح من الخلفية النظرية أن أفضل زاوية لميل الألواح الشمسية المثبتة على السطح في الأقاليم الشمالية بمصر هي 35 [5] تجاه الجنوب، للاستفادة القصوى من اشعة الشمس، مما سيطرح فكرة استعمال الأسقف المائلة في عمارة الأقاليم الشمالية المصرية، وسيطرح فكرة تصميم الدور الأخير من المبنى بحيث يكون ذو سقف مائل، وهذا سيتماشى مع طبيعة المناخ في الأقاليم الشمالية المصرية، التي تتمتع بمعدل سقوط أمطار كبيرة نسبياً، وبالتالي سيساعد السطح المائل في تصريف مياه الامطار، دون الحاجة لاستخدام المواد التقليدية لعزل الرطوبة.

ج. غالباً ما تكون لغة التعبير المعماري الناتجة عن نظام BIPV في إطار العمارة الملساء، لا تتسم بوجود بروز أو ظلال، حيث إن أي ظل على المبنى سوف يقلل من كفاءة الالواح الشمسية في إنتاج الطاقة، وخاصة بالنسبة للواجهات الجنوبية والشرقية والغربية. مما يعنى ضرورة التخلي عن فكرة بروز وارتداد الكتل عند تصميم واجهة المبنى، بالرغم من ثراء هذه الفكرة تشكيلياً، إلا إنها لا تتفق مع الناحية الوظيفية لطبيعة الألواح الشمسية.

د. يختلف الوضع بالنسبة للواجهة الشمالية التي لن يتم تثبيت ألواح شمسية عليها، ولكن من الممكن تثبيت أسلحة رأسية عمودية على الواجهة، ويثبت على كل من وجهيها الشرقي والغربي ألواح لإنتاج الطاقة، مما سيعطى ثراء وكثافة من الظلال على الواجهة الشمالية.

هـ. يعتبر تصميم المباني المعتمدة على الأشكال والكتل المعقدة غير ناجح في التعامل مع نظام BIPV، حيث يفضل استخدام الكتل البسيطة الواضحة، مثل الشكل المربع أو المستطيل أو الدائري أو المباني التي على شكل حرف L. ومن الوارد استخدام الاشكال المنحنية عند استخدام نظام BIPV عن طريق استخدام الألواح سداسية الشكل، حيث ان الشكل السداسي هو أفضل الاشكال لتحقيق الاشكال المنحنية في التعبير المعماري للواجهة عند الاستخدام.

و. من الأفضل زيادة ارتفاع الدروة إلى 2م لتعطى مساحة أكبر للواجهات لإنتاج الطاقة، كما تعمل على حجب رؤية الألواح BAPV المائلة المثبتة على السطح الأفقي لإنتاج الطاقة، وهو الشكل المعتاد لسن المنشار.

ز. من المحددات التي تتحكم في التعامل مع نظام BIPV ألوان الألواح، حيث إن الألوان الداكنة هي أفضل الألوان التي تنتج أعلى كفاءة لإنتاج الطاقة مثل اللون الأسود والأزرق والرمادي الغامق، لان لهم أطوال موجية منخفضة، ولذلك يعتبروا أكثر كفاءة عند الاستخدام حيث يصل معدل الفقد في الطاقة الى 20% في المتوسط. أما الألوان الفاتحة مثل الأصفر والبرتقالي والاحمر، فهم من أعلى الألوان في فقد الطاقة لإن لهم أطوال موجية عالية، ويصل معدل فقد الطاقة بهم 55% في المتوسط [xxxvi]. مما سيعطى واجهات المبنى لوناً قاتماً، وقد تكون هذه الألوان غير معتادة في واقع العمران المصري، إلا إنه من الألوان المناسبة تشكيلياً مع السطوع الشمسي الكبير المميز للمناخ المصري.

## 7- مناقشة النتائج

من خلال النتائج السابقة يتضح لنا عدة نقاط، قد يكون من الضروري مناقشتها، وتتمثل هذه النقاط فيما يلي: -

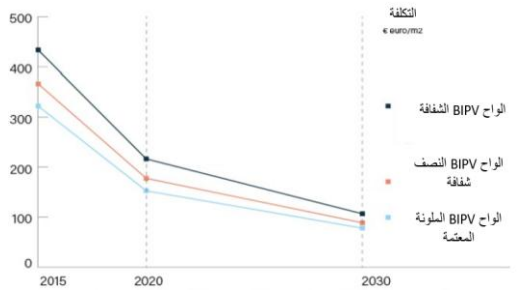
أ. من الواضح أن العمارة ستتجه بقوة في المستقبل القريب نحو اتجاه التقنية الفائقة High-Tech من خلال استخدام نظام BIPV، مما سيفرض لغة جديدة للتعبير المعماري، استطاع البحث التنبؤ ببعض ملامحها، وذلك سيكون له أثره الواضح على النواحي التصميمية والتنفيذية والاقتصادية والاجتماعية للعمران المصري بشكل عام. والواقع أن أغلب دول غرب أوروبا بدأت الاهتمام بهذا النظام، كما يتضح بالشكل (50)، من خلال الاهتمام بدراسات التسويق والتطوير والنواحي التقنية والاقتصادية والاجتماعية. مما يفتح المجال أمام العديد من الدراسات والبحوث المحلية لدراسة العديد من النقاط المتعلقة بالنظام.

ب. لم تعد الواجهة مجرد غلاف خارجي للمبنى، ولكن أضيفت لها وظيفة جديدة مهمة، تتمثل في إنتاج الكهرباء، مما سينعكس على إعادة التفكير في أسلوب التصميم المعماري من منظور جديد يختلف عن السابق.

ج. بالرغم من نجاح النظام في توليد الكهرباء بشكل واضح إلا إنه تقابله عقبة، تتمثل في التكلفة الحالية المرتفعة لتنفيذ النظام، إلا أنه مع التوسع في استخدام النظام وتطوير تقنياته، وتصنيعه محلياً، سينخفض سعره بشكل ملحوظ خلال العقود القادمة، وهو ما يتضح من انخفاض سعر تكلفة المتر المربع من نظام BIPV من 400 يورو عام 2015 إلى 180 يورو عام 2022، ومن المتوقع أن يصل إلى 100 يورو عام 2030، كما يتضح بالشكل (51).

د. من أهم العواقب الرئيسة التي يمكن أن تواجه انتشار نظام BIPV في مصر، قلة المعرفة والمعلومات المتاحة عن النظام من قبل المجتمع، مع عدم وجود الخبرات الكافية، وغياب الدراية بالنظام من قبل المعماريين والمقاولين، وفى هذا الصدد يذكر المعماري "توماس هيرتزوج" أن الجمهور العام لن يقبل تقنية الطاقة الشمسية إلا من خلال الاقتناع بالأمثلة المرئية [xxxvii]، وبالتالي يجب التخطيط لاستخدام أشكال الطاقة الجديدة الصديقة للبيئة من وجهة نظر شاملة، حيث تمثل الطاقة المتجددة فرص لجعل الحياه في المدينة أكثر جاذبية، وأهم عامل يجب على أي دولة تسعى للتحول نحو الطاقة النظيفة أن تأخذه في الاعتبار، هو تقبل المجتمع واستعداده لاستخدام الطاقة النظيفة، حيث إنه قد يحدث نوعاً من المقاومة المجتمعية لاستخدام الطاقة الجديدة.

شكل (50) الجهود المبذولة من دول أوروبا لاستخدام ودراسة نظام BIPV
المصدر: BIPVBOOST Cost-reduction roadmap for the European BIPV sector. October 2020




شكل (51) تطور سعر المتر المربع من ألواح BIPV منذ عام 2015 حتى عام 2030
المصدر: BIPVBOOST Cost-reduction roadmap for the European BIPV sector. October 2020

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

## 8- التوصيات

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 البينية 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 لإمكانيات 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 يستدعى 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 لكيفية 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، وفى 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 سيؤدى 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، لتوسعه استخدامها في المباني لتوليد طاقة نظيفة، مع الاهتمام بمقاس الألواح الشمسية عند تصميم موديول الواجهة، وبالتالي يجب اختيار مقاس الألواح المناسب، مع تحديد أماكن ومقاس الفتحات وفقاً لهذا الموديول وخاصه 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. etal. (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.
[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]Heinstein, P. Ballif, C and Aebi,P. (2013). Building Integrated Photovoltics (BIPV): Review, Potenial, 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 coeffi cients 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. etal. (2015). Integration of Color and Graphical Design for Photovoltaic Modules Using Luminescent Materials. IEEE J Photovolt.5:584-90.
[24]Suhaimi, S. etal. (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, Rizzili International Publcations, USA, Pp 6-21
[30]High-Tech Architecture Guide.

Journal of Engineering Research (ERJ)
Vol. X – No. Y, 2023
©Tanta University, Faculty of Engineering
ISSN: 2356-9441 https://erjeng.journals.ekb.eg/ e ISSN: 2735-4873

[34]Heinstein, P. Ballif, C and Aebi, P. (2013) Building Integrated Photovoltics (BIPV): Review, Potenial, 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)
https://www.dezeen.com/2019/11/04/high-tech-architecture-guide/ . at 20-9-2022. at 1:15 Pm.
[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.