

الجدوى الاقتصادية المباشرة لتطبيق نظام الألواح الكهروضوئية المتكاملة في غلاف
المباني السكنية بمصر

**Assessing The Economic Feasibility of Applying Integrated Photo
Voltaic (BIPV) System in Residential Buildings in Egypt**

أ.د/ حسام الدين مصطفى

أستاذ تاريخ ونظريات العمارة قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية

Prof. Hussam Mostafa Saleh

Professor Architectural Department – Faculty of Engineering – Menoufia University

hussam_nour@hotmail.com

أ.د/ صفاء محمود عيسى

أستاذ التصميم المعماري قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية

Prof. Safaa Mahmoud Issa

Professor Architectural Department – Faculty of Engineering – Menoufia University

safaai21@gmail.com

م.م/ أحمد أيمن عيسى

مدرس مساعد قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية

assist. Lect. Ahmed Ayman Eissa

Assistant Lecturer Architectural Department – Faculty of Engineering – Menoufia
University

ahmed_amer6@sh-eng.menoufia.edu.eg

ملخص البحث:

تتزايد احتياجات الإنسان المعاصر للطاقة الكهربائية بصورة دائمة، لتلبية احتياجاته المتزايدة من تطبيقات الحياة المتطورة، وقد أدى زيادة الطلب على مصادر الوقود الأحفوري للتغيرات المناخية التي نشهدها حالياً، فالتجهد العديد من الدول للبحث عن مصادر طاقة جديدة، وخاصة الطاقة الشمسية التي من أهم تطبيقاتها المرتبطة بالعمارة نظام BIPV المتكامل مع المبنى لإنتاج الكهرباء. وتتمثل المشكلة البحثية في تحديد كمية الكهرباء الناتجة من النظام في غلاف المبنى، ومدى الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام نظام BIPV في مصر، وي طرح البحث فرضية أنه يمكن تحويل المبنى السكنى إلى مصدر لإنتاج الطاقة النظيفة، وفى إطار التحقق من هذه الفرضية يطرح البحث الأسئلة البحثية الثلاثة التالية: (أ) ما هي أفضل أوضاع استخدام نظام BIPV في غلاف المبنى لإنتاج الطاقة الكهربائية في مصر؟ (ب) كم يبلغ مقدار الطاقة الكهربائية الناتجة من النظام؟ (ج) ما هي الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام نظام BIPV في مصر؟ ويهدف البحث إلى التوصل لمجموعة من التوصيات تمهيداً لتطبيق النظام في مصر. وتتمثل أهمية البحث في إمكانية تحويل المباني السكنية في مصر من وحدات مستهلكة إلى وحدات منتجة للطاقة النظيفة. ويندرج البحث ضمن البحوث التجريبية من خلال إجراء تجربة لمعرفة إنتاج الكهرباء في حالة تطبيق النظام لغللاف أحد المباني في مصر، ثم دراسة الجدوى الاقتصادية للنظام. وقد توصلت الدراسة إلى النتائج التالية: يعتبر النظام ناجح اقتصادياً، كما أن قيمة الكهرباء الفائضة عن النظام يمكن أن تتكفل بمصروفات الصيانة وتأمين النظام طوال فترة تشغيله، ولكن يصعب تطبيق النظام على العمارات السكنية القائمة، ولكن يمكن تطبيقه بسهولة على المشروعات السكنية الجديدة.

الكلمات المفتاحية :

الطاقة الشمسية؛ المباني المولدة للطاقة؛ الألواح الشمسية المتكاملة؛ الاستدامة.

Abstract:

Nowadays, the human need for electrical energy is escalating due to the growing demand of modern life applications, however, the increasing demand for fossil fuel sources for electricity production has led to the climate changes. Thus, many countries have sought new energy sources, in particular, solar energy in which Building Integrated Photovoltaics (BIPV) is considered one of its key applications to produce electricity. The research problem lies in determining the amount of electricity produced by the system in the building envelope and assessing the direct economic feasibility of using BIPV systems in Egypt. The research hypothesis suggests that residential buildings can be converted into sources of clean energy production. To verify this hypothesis, the research asks the following three research questions: (A) What are the best configurations for using BIPV systems in building envelopes to generate electrical energy in Egypt? (B) What is the amount of electrical energy generated by the system? (C) What is the direct economic feasibility of using BIPV systems in Egypt? The research aim is twofold, first is to determine the amount of electricity produced by BIPV systems on building envelopes, second, to evaluate the economic feasibility of the system and formulate a set of recommendations for its implementation in Egypt. In addition, the strength of this research lies in the potential to transform residential buildings in Egypt from energy-consuming units to clean energy producers. The result of this experimental study shows that the applied system is economically viable, and the surplus in generated electricity can cover maintenance expenses and ensure system security throughout its operational period. However, implementing BIPV system in existing residential buildings is challenging, but it can be easily applied to new residential projects.

Keywords:

Solar Energy; Energy Generating Buildings; BIPV System; Sustainability.

١ - طبيعة المشكلة البحثية:

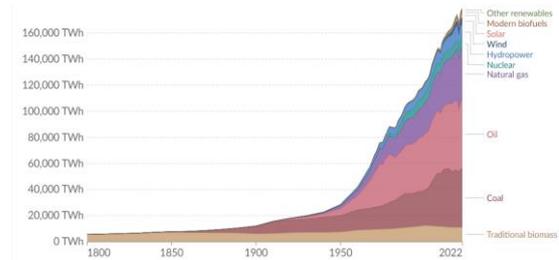
تعتبر الطاقة مصدر رئيسي للحياة في أي مجتمع، لارتباطها بخطط التنمية الاقتصادية، مما يجعلها من أهم الإشكاليات العالمية المعاصرة في وقتنا الحالي، فمع ارتفاع اعداد السكان في العالم، وضرورة استخدام الكهرباء في أغلب الأنشطة الحياتية، تزايد الطلب على الطاقة عالمياً بشكل مضطرد، حيث تضاعف استهلاك الطاقة الكهربائية خلال العشرين عاماً الماضية، كما يتضح بالشكل (١). كما ارتبط تزايد استهلاك الطاقة بارتفاع تلوث البيئة من خلال المعدلات المتزايدة للانبعاثات الكربونية الناتجة من احتراق الوقود الأحفوري، حيث تزايدت الانبعاثات الكربونية في الغلاف الجو من ٢ جيجا طن في عام ١٩٠٠ إلى ٣٦,٨ جيجا طن في عام ٢٠٢٢ طبقاً للوكالة الدولية للطاقة [١]. مما ترتب عليه التغيرات المناخية التي نشهدها الآن، والمتمثلة في ظاهرة الاحتباس الحراري، وارتفاع درجة حرارة الأرض، كما يتضح بالشكل (٢)، وتوابعها من تصحر وجفاف، وانصهار جليد القطبين، وارتفاع منسوب المياه، وحدثت أزمات في التنوع البيولوجي والمحاصيل الزراعية... إلخ [٢]، مما سيؤدي إلى الانهيار البيئي لكوكب الأرض في المستقبل

القریب. ومن الجدير بالذكر اتجاه بعض البحوث لدراسة المباني صفرية الطاقة أو الموفرة للطاقة، وواقع الأمر أن استهلاك الانسان للكهرباء يزداد منذ بدايات القرن العشرين وحتى الآن، لأن رفاهية الانسان مرتبطة باستهلاكه من الكهرباء، حيث ارتفع متوسط استهلاك الفرد عالمياً من الكهرباء من ١١٩٨ ك.و.س للفرد عام ١٩٦٠ إلى ٣١١٠ ك.و.س للفرد عام ٢٠٢٠ [١] [٢]. وبالتالي يعتبر الاتجاه نحو استخدام الطاقة المتجددة والنظيفة هو أفضل الحلول لإنقاذ كوكب الأرض وموارده من الدمار، مما سوف يؤدي إلى فتح المجال للاستفادة من الطاقة الشمسية، التي تعتبر طاقة آمنة ولا تنضب، مما يجعلها الخيار الأمثل، فضلاً عن صورها العديدة والمتنوعة في الاستخدام، سواء من خلال التسخين، أو تحويلها إلى طاقة كهربائية باستخدام الخلايا الكهروضوئية [٣].



شكل (٢) أثر ارتفاع درجة الحرارة على كوكب الارض

المصدر: <https://interactive-atlas.ipcc.ch/regional-information#.at> Accessed January 12,2023, 19:45.



شكل (١) تطور استخدام الكهرباء حسب مصادر الطاقة المختلفة

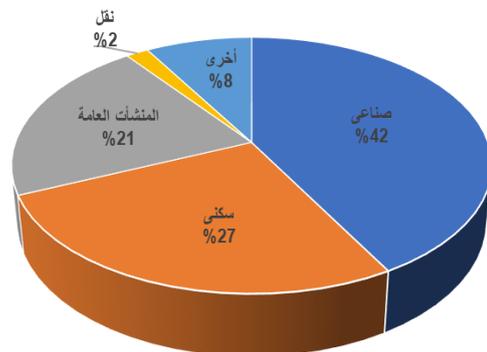
المصدر: <https://ourworldindata.org/global-energy-200-years>. Accessed January 12,2023, 19:45.

ومن جهة أخرى تعد العمارة جزءاً من مشكلة الطاقة، حيث تستحوذ البيئة المبنية السكنية على نسبة حوالي ٢٧٪ من إجمالي استهلاك الطاقة، وتستحوذ المنشآت العامة على نسبة ٢١٪ [٤]، كما يتضح بالشكل (٣)، ومن هنا نبعت فكرة البحث في تحويل المنشأ إلى مصدر لإنتاج الطاقة النظيفة، مما يعني أن ركائز العمارة الناجحة سوف تعتمد على الوظيفة والإنشاء وإنتاج الطاقة المستدامة والجمال والاقتصاد. كما يذكر السير "نورمان فوستر": "أن العمارة الشمسية Solar Architecture ليست مجرد اتجاه جديد، ولكنها أصبحت ضرورة ملحة في الوقت الحالي" [٥] [٦]. وبالتالي 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 [٨].

شكل (٣) استهلاك الكهرباء العالمي حسب القطاع لعام ٢٠٢١

المصدر:

https://erjeng.journals.ekb.eg/article_296907_a64c8b39a01621d824c9b9308787950e.pdf. Accessed April 30,2024, 20:00.



١-١ 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 تحديد كمية الكهرباء الناتجة من النظام في غلاف المبنى، ومدى الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام نظام BIPV في مصر، وي طرح البحث فرضية أنه يمكن تحويل المبنى السكني إلى مصدر

لإنتاج الطاقة النظيفة، وفي إطار التحقق من هذه الفرضية يطرح البحث الأسئلة البحثية الثلاثة التالية: (أ) ما هي أفضل أوضاع استخدام نظام BIPV في غلاف المبنى لإنتاج الطاقة الكهربائية في مصر؟ (ب) كم يبلغ مقدار الطاقة الكهربائية الناتجة من النظام؟ (ج) ما هي الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام نظام BIPV في مصر؟

٢-١ أهداف البحث:

تتمثل أهداف البحث فيما يلي: -

أ. معرفة الجدوى الاقتصادية المباشرة للنظام.

ب. التوصل لمجموعة من التوصيات يمكن أن تمهد لتطبيق نظام BIPV في مصر.

٣-١ أهمية البحث:

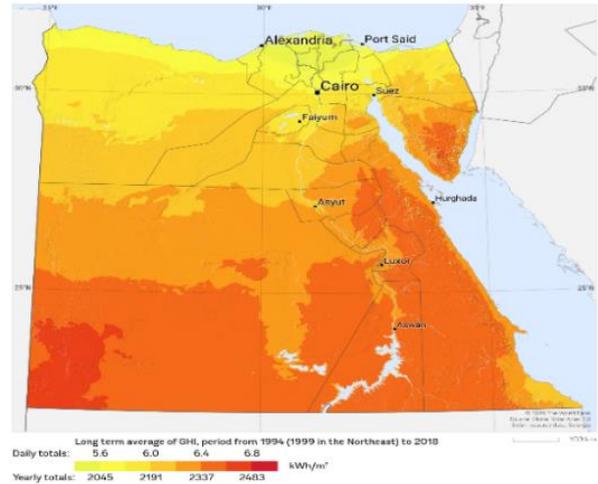
تعتبر مصر من أعلى الدول الإفريقية اكتظاظاً بالسكان، حيث تحتل المركز ١٤ من حيث عدد السكان، فقد بلغ تعداد السكان في مصر عام ٢٠٢٣ نحو ١١٣ مليون نسمة [١]، ومن المتوقع أن يصل في عام ٢٠٥٠ إلى ١٦٠ مليون نسمة، مما يستتبعه من تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية، فضلاً عن تزايد متوسط الاستهلاك السنوي للفرد من الكهرباء في مصر، الذي ارتفع من ١٩٥٠ ك.و.س عام ٢٠١٢ إلى ٢٠٢٠ ك.و.س عام ٢٠١٩، ومن المتوقع أن يصل إلى ٢٥٠٠ ك.و.س عام ٢٠٥٠. مما سيشكل أزمة على موارد الطاقة المحلية، حيث تعد مصر أكبر مستهلك للنفط والغاز على مستوى قارة إفريقيا، وهو ما اتضح خلال عامي ٢٠٢٣ و ٢٠٢٤ من تبنى الدولة لخطط تخفيف الاحمال الكهربائية، وتزايد شكوى المواطنين من انقطاع الكهرباء، ومع زيادة أسعار النفط، وإنتاجه غير المستدام، والتحرك الدولي ضد الانبعاثات الكربونية، كان من الضروري تكريس الجهود لتعزيز استخدام الطاقة المتجددة [٢]. ومن جهة أخرى تعد مصر من الدول ذات المعدل العالي للسطوع الشمسي بسبب موقعها الجغرافي، حيث يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي العمودي اليومي من ٥,٦ إلى ٦,٨ ك.و.س/م^٢، ويتراوح الإشعاع المباشر للشمس من ٢٠٤٥ إلى ٢٤٨٣ ك.و.س/م^٢ سنوياً، وذلك بمتوسط قدرة من ٩ إلى ١١ ساعة في اليوم [٣] كما يتضح بالشكل (٤).

شكل (٤)

معدل الإشعاع الشمسي في مصر بالكيلو وات ساعة/م^٢

المصدر:

<https://data.worldbank.org. Accessed April 30, 2024, 20:00./>



فضلاً عن وجود اهتمام عالمي في مجال تبادل تقنية الطاقة الكهروضوئية ما بين دول الشمال والجنوب، وهو ما يتضح في مؤتمرات المناخ العالمية السنوية التي بلغ عددها ٢٨ مؤتمر حتى عام ٢٠٢٣. ومن جهة أخرى توجد إرادة حكومية لترشيد استهلاك الطاقة، وتنمية الطاقة المتجددة، حيث ضخ بنك الاستثمار القومي في الفترة من ٢٠٠٩ إلى ٢٠١٧ استثمارات تقدر بنحو ١,٣ مليار جنيه لتنمية استخدام الطاقة المتجددة، وتشجيع تصنيع معداتها محلياً بحيث تمثل نقطة ارتكاز وطنية لاستخدام

مصادر الطاقة النظيفة والمتجددة، ومن تلك المشاريع إنارة ٢١١ قرية وتجمع سكنى بواسطة نظم الخلايا الكهروضوئية بقدرة ٢ ميغا وات، وعدد من المشاريع الأخرى [١]؛ كما تعمل الدولة على إنشاء المحطة الشمسية بمنطقة "بنبان" بأسوان، والتي تضم نحو ٤٠ محطة كهروضوئية بقدرة ٥٠ ميغا وات للمحطة الواحدة، وفي إطار ما سبق تتمثل أهمية البحث فيما يلي:

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

١-٤ منهجية البحث:

○ يندرج البحث ضمن البحوث التجريبية، فقد ارتكزت الدراسة على إجراء تجربة لمعرفة كمية الكهرباء الناتجة من الألواح الشمسية لكل واجهة من واجهات المبنى، وكذلك السطح، ثم حساب الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام هذا النظام، من خلال حساب عدة معايير مرتبطة بتوريد وتركيب النظام وكمية الكهرباء الناتجة عنه. وفي هذا الإطار يتكون البحث من الخلفية النظرية التي تناقش مفهوم نظام BIPV أو الألواح الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى، والأمثلة الدولية للتطبيق الفعلي للنظام، ثم الدراسة التطبيقية الخاصة للتجربة العملية، وحساب الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام النظام، ثم التوصيات المقترحة.

٢- نظام الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى

○ تركز 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، ومحول Inverter يعمل على تحويل التيار المستمر الناتج من الخلية الشمسية إلى تيار متردد AC بفرق جهد ٢٢٠ فولت، مما يجعله قابلاً للاستخدام في الأجهزة المنزلية الكهربائية، 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 بشكل مائل وفقاً لزاوية ميل الشمس المثلى للموقع، ويكون التثبيت على قوائم رأسية موجودة على السطح، بما يشكل حمل إضافي على سطح المنشأ [٢]؛ وتوجد عدة أمثلة محلية تستخدم هذا النظام، لعل أوضحها أحد المجمعات السكنية المسيجة بمدينة السادس من أكتوبر عام ٢٠١٩، حيث تنتج الفيلا الواحدة طاقة يومية من ٥ إلى ١٠ ك.و.س، لينتج المجمع طاقة سنوياً بمقدار ٣٥٢ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٥).

○ أما نظم الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى أو Building Integrated Photovoltaic (BIPV) فهو عبارة عن تقنية متعددة الوظائف، تقوم بأكثر من وظيفة، فإلى جانب توليد الكهرباء، يعمل النظام كجزء من غلاف المبنى الخارجي، وقد تم تعريف النظام في البداية على أنه "مكونات كهروضوئية تحل محل مواد البناء التقليدية في بعض أجزاء غلاف المبنى الخارجي، وتتدخل بشكل مباشر في تشييده، وتعتبر المصدر الرئيس أو الإضافي لتوليد الكهرباء في المبنى" [٣]. وتُعرف الوكالة الدولية للطاقة IEA النظام على أنه: "نظام كهروضوئي يتضمن المكونات اللازمة لإنتاج التيار الكهربائي، وما يشمله من الأنظمة الميكانيكية اللازمة لدمجه في المبنى، ويتم توصيله بشبكة التيار المتردد الداخلية والخارجية" [٤]. وبناءً عليه يمكن تعريف نظام BIPV على أنه دمج وتكامل الألواح الكهروضوئية مع غلاف المبنى الخارجي سواء في

يوليو ٢٠٢٥

مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية - المجلد العاشر - العدد الثاني والخمسون

الأسطح أو الواجهات، ليعمل بدوره كمادة جديدة تحل محل مواد البناء التقليدية، وترفع من كفاءة الغلاف الخارجي، وتضيف للمبنى وظيفة جديدة تتمثل في إنتاج الكهرباء، وبالتالي ترتكز فكرة نظام BIPV على التكامل بين التقنية والطاقة والإنشاء والتعبير المعماري للمبنى. وتتوزع الألواح الكهروضوئية في نظام BIPV في المبنى في المواضيع التالية، كما يتضح بالشكل (٦) :-



على السطح بأحد المجمعات السكنية بمدينة السادس من أكتوبر عام ٢٠١٩ BAPV شكل (٥) استخدام نظام

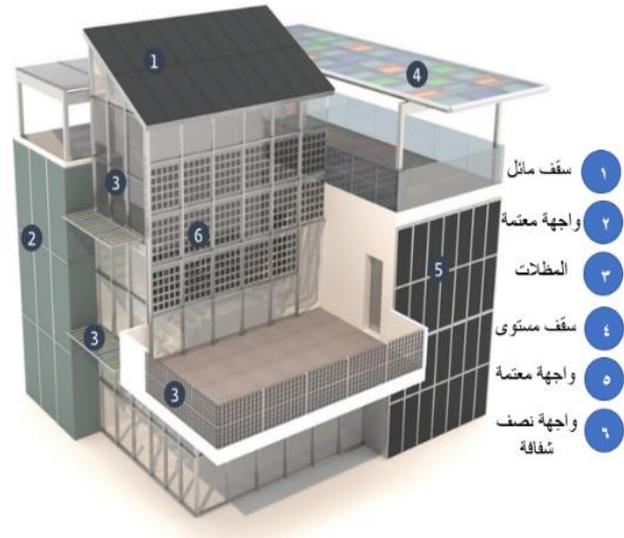
المصدر: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/eg/EG-Egypt-PV---Report-2020.pdf>. Accessed April 30,2024, 20:15.

شكل (٦)

مواضع تثبيت ألواح نظام BIPV في المبنى

المصدر:

https://www.researchgate.net/publication/370648846_athr_astkhdam_nzam_alalwah_alshmsvt_almtkamlt_m_ghlaf_almbnv_lv_tghvvr_shkl_almart_almhlyt The Effect of Using Building Integrated Photovoltaic BIPV With the Building Envelope in Changing the Local Ar. Accessed April 30,2024, 20:00.



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، وقد تغطي الألواح كل السطح أو جزء منه، ويمكن أيضاً تركيب الألواح في الفتحات العلوية Sky Lights التي تسمح بمرور الإضاءة الطبيعية، كما يتضح بالشكلين (٧) و(٨). 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 [١] كما يتضح بالشكل (٩).



شكل (٨) تركيب ألواح BIPV في الفتحات العلوية بمركز أبحاث النفط، بمدينة الدمام - المملكة العربية السعودية، عام ٢٠١٧
المصدر: <https://onvxsolar.com/oilfield-research-and-innovation-center>. Accessed April 30,2024, 20:20.



شكل (٧) تركيب ألواح BIPV بشكل أفقي على الأسطح بمطعم ماكدونالدز بمدينة أورلاندو - فلوريدا، عام ٢٠١٨
المصدر: <https://onvxsolar.com/mcdonald-s-flagship-restaurant>. Accessed April 30,2024, 20:20.

شكل (٩) تركيب ألواح BIPV بشكل مائل على الأسطح بمكتب الحكومة الإقليمية بمدينة هلسينجبورج - السويد، عام ٢٠١٢
المصدر:

<https://integratedpv.eurac.edu/en/case-studies/v%C3%A4la-g%C3%A5rd.html>.
Accessed April 30,2024, 20:25.



بالنسبة للحالة المحلية تتحدد زوايا ميل الألواح الكهروضوئية حسب الموقع الجغرافي وزاوية ميل الشمس، ففي الأقاليم الشمالية مثل محافظة الإسكندرية من المستحسن وضع الألواح على الأسطح بزاوية ميل ٣٥ ° تجاه الجنوب للاستفادة القصوى من أشعة الشمس، والأقاليم الجنوبية مثل محافظات الصعيد تكون أفضل زاوية ميل للألواح على السطح ١٥ ° تجاه الجنوب [٨].

ب. **الواجهات:** يتم تثبيت الألواح بشكل رأسي على جدران الواجهة، 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، كما يتضح بالشكل (١٠).

ج- **العناصر الخارجية للمبنى:** يمكن تركيب النظام على العناصر الخارجية التي تتعرض لأشعة الشمس، مثل المظلات، أو درابزينات التراسات والسلالم الخارجية.



شكل (١١) مميزات نظام BIPV
المصدر: الباحث

شكل (١٠) تركيب ألواح BIPV في واجهات مبنى إداري "لارسن وتوبرو"، بمدينة "كاتشيبورام" - الهند

المصدر: <https://onyxsolar.com/oilfield-research-and-innovation-center>. Accessed April 30, 2024, 20:25.

وفى إطار ما سبق يعتبر نظام BIPV متكامل مع البناء، ويوفر العديد من المزايا، كما يتضح بالشكل (١١)، أهمها ما يلي:-

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

ب. يعتبر عازل جيد للحرارة والرطوبة والصوت، حيث يتم تثبيت الألواح على المبنى سواء في الواجهات أو السطح، مع ترك فراغ يتراوح من ١٠ إلى ١٥ سم للتهوية وتمديد الوصلات، ويعمل ذلك الفراغ على مرور الهواء لتبريد الألواح من الخلف [١]؛ كما يقوم النظام بمنع تسريب المياه للفراغ الداخلي بسبب مكوناته من السيليكون، ومن الشائع تركيب طبقة من العزل أسفل الألواح لتعمل كحاجز ثانوي لتصريف تكاثف الرطوبة والأمطار [٢].

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

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

هـ. يحل محل مواد التشطيب 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 الكهروضوئية التي تحتاج لمساحات كبيرة من الأرض، حيث يعد المبنى في حد ذاته محطة لتوليد الطاقة، ويمكن أن يمد الشبكة العامة بالكهرباء [٣].

٣- أمثلة التطبيق الفعلي لنظام BIPV

انتشرت العديد من الأمثلة المستخدمة لنظام BIPV بشكل رئيسي في قارة أوروبا منذ بداية الألفية الثالثة، بسبب عدم وجود مصادر للنفط والغاز الطبيعي تغطي استهلاكها، واعتمادها بشكل كبير على خطوط الغاز الروسي والنفط العربي، أما الولايات المتحدة مازال يوجد لديها مخزون وافر من مصادر النفط والغاز الطبيعي، وتوعدت تلك الأمثلة في المنشآت الحديثة، فيما يلي سرد لأهم تلك الأمثلة:-

(أ) مبنى سكني بمدينة "هوفبرج" بسويسرا، تم تشييد المبنى عام ٢٠١١، بواسطة المعماري "فنت"، كما يتضح بالشكل (١٢)، حيث تم تثبيت الألواح الكهروضوئية ذات اللون الأسود في واجهات وسطح المبنى على مسطح ٢٥١م^٢ في الواجهات و٢٩٤م^٢ في السطح، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى (٧٩٨ × ١٥٥٩م)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٥٥,٣ ميجا.و.س، وتغطي ١٠٠% من استهلاكه.



شكل (١٢) مبنى سكني بمدينة هوفبرج - سويسرا، عام ٢٠١١

المصدر: <https://solarchitecture.ch/hofberg-6-7>. Accessed April 30,2024, 21:00.

(ب) مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا، تم تشييد المبنى عام ٢٠١٧، بواسطة المعماريان "رينيه شميت وأي جي"، كما يتضح بالشكل (١٣)، تم تثبيت الألواح الكهروضوئية ذات اللون الرمادي في واجهات المبنى على مسطح ١٣٢٣ م^٢، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٢١ ميجا.و.س، وتغطي ٣٩% من استهلاكه.



شكل (١٣) مبنى سكني بمدينة زيورخ - سويسرا، عام ٢٠١٧

المصدر: <https://solarchitecture.ch/rene-schmid-architekten-ag-project>. Accessed April 30,2024, 21:00.

(ج) مبنى سكني اجتماعي بمدينة "بيست" بهولندا، تم تشييد المبنى عام ٢٠١٨، بواسطة المكتب المعماري NB، كما يتضح بالشكل (١٤)، تم تثبيت الألواح الكهروضوئية ذات اللون الأسود في واجهات ودرازينات الشرفات بالمبنى على مسطح ٧٥٠ م^٢ في الواجهات و ٥٠٠ م^٢ في درازينات الشرفات، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى (٦٥٦ × ١٦٥٦م)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٢٥٠ ك.و.س. ونجد من استعراض الأمثلة السابقة أن نسبة تغطية النظام للطاقة التي يستهلكها المبنى تراوحت من ٣٩% إلى ١٠٠%.



شكل (١٤) مبنى سكني اجتماعي بمدينة "بيست" - هولندا، عام ٢٠١٨

المصدر: IEA PVPS Task 15, Report

٤- الدراسة التطبيقية

تمثل الإجراء الأول من الدراسة التطبيقية في التجربة العملية لقياس كمية الطاقة الكهربائية الناتجة عن الألواح الكهروضوئية المثبتة في المبنى، سواء في الواجهات الأربع والسطح بنوعيه الأفقي والمائل.

٤-١ تجربة قياس الكهرباء الناتجة عن الألواح

تمثل الغرض من التجربة في معرفة كمية الطاقة الكهربائية مقاسة بالكيلو وات ساعة الناتجة من ألواح BIPV وفقاً لتوزيع الواجهات حسب الجهات الأصلية، وكذلك معرفة كمية الطاقة الناتجة من ألواح BAPV المثبتة على الأسطح وتحديد زاوية الميل المثلى. وقد تم إجراء التجربة أعلى سطح مبنى قسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة جامعة المنوفية بمدينة شبين الكوم، على إحداثيات الموقع $30^{\circ} 33' 27''$ شمالاً و $31^{\circ} 00' 45''$ شرقاً، وذلك في الفترة من الأول من يناير إلى ٣١ ديسمبر ٢٠٢٣، وتم إجراء التجربة بالإشتراك مع مجموعة بحثية تقوم بدراسة استخدام ألواح الطاقة الكهروضوئية في تصميم البيوت المحمية الذكية لإستنبات الشعير، وقد بلغت التكلفة الإجمالية للتجربة ١٨٥ ألف جنيه (بما يعادل حوالي ٥٦٠٠ يورو في ديسمبر ٢٠٢٣)، وذلك بتمويل من هيئة تمويل العلوم والتكنولوجيا والابتكار STDF.

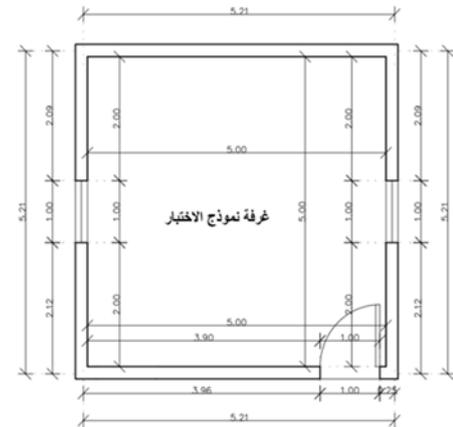
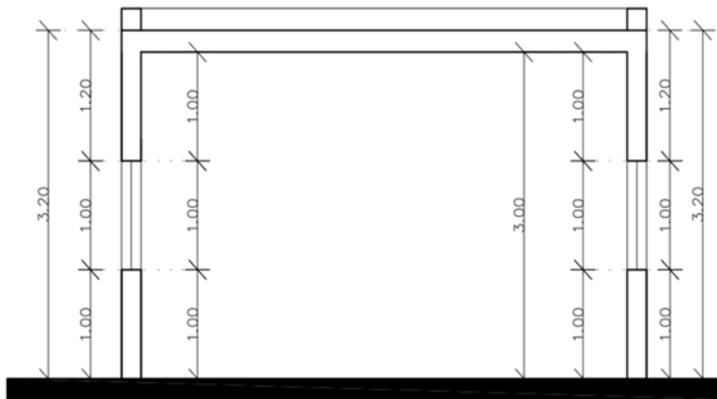
٤-١-١ أدوات التجربة

أ. نموذج الاختبار: تم تصميم وبناء غرفة مربعة طول ضلعها ٥م وارتفاعها ٣م، وتواجه جدرانها الجهات الأصلية، وتم عمل فتحتين للنوافذ في جهتي الشرق والغرب بأبعاد ١×١ م، تم تشييد جدران وسقف الغرفة من حوائط ستائرية curtain walls بسمك ١٠ سم، ومكونة من لوحين من الصاج المجلفن المغطى بالطلاء الأبيض، بينهما رغوة "البولي يوريثان" كمادة عازلة للحرارة، وهي ذات معامل توصيل حراري ٠,١١ وات/م^٢·كلفن، وكثافة ٤٠ كيلو جرام/م^٣، وقد بلغت تكلفة تشييد الغرفة ١١٢ ألف جنيه مصري في مارس ٢٠٢٢ (بما يعادل ٥٣٣٤ يورو آنذاك)، وقامت بتشيد النموذج إحدى شركات القطاع الخاص، كما يتضح بالأشكال من (١٥) إلى (١٧).



شكل (١٦) مبنى التجربة العملية أثناء المتابعة
المصدر: تصوير الباحث في ١٤-١١-٢٠٢٣

شكل (١٥) مبنى التجربة العملية بكلية الزراعة - جامعة المنوفية
المصدر: تصوير الباحث في ١٤-٨-٢٠٢٣



شكل (١٧) الرسومات التنفيذية لنموذج الاختبار المصدر: المصدر: الباحث

ب. عدد ٦ ألواح كهروضوئية تصنيع "جنكو سولار" Jinko Solar، متعدد البلورية Polycrystalline، كما يتضح بالشكل (١٨)، وقد تم توريد وتركيب الألواح من خلال وكيل الشركة المعتمد في مصر، وقد بلغ سعر اللوح الواحد ٢٠٠٠ جنيه في إبريل ٢٠٢٢ (بما يعادل ٩٥ يورو آنذاك)، وتمثلت أبعاد اللوح (٩٩٢×١٦٤٠ مم) وبسمك ٤٠ مم، وقدرة اللوح الواحد ٢٥٠ وات، وأقصى فرق جهد يمكن للوح إنتاجه ٣٠,٢٣ فولت، وأقصى شدة تيار ٨,٢٧ أمبير، بكفاءة ١٦%.

ج. محول من نوع "ماست" MUST مورد من نفس الشركة، وقدرته ٣٠٠٠ وات، وأقصى فرق جهد للمحول ٢٤ فولت، وأقصى شدة تيار ٨٠ أمبير، كما يتضح بالشكل (١٩)، وبلغ سعره ٨٠٠٠ جنيه في إبريل ٢٠٢٢ (بما يعادل ٣٦٤ يورو آنذاك)، ويستخدم كمحول للتيار ومنظم لشحن البطاريات.

د. عدد ٢ بطارية مودة من نفس الشركة، من نوع "نارادا" Narada بسعة ١٥٠ أمبير و١٢ فولت للبطارية الواحدة، كما يتضح بالشكل (٢٠)، وقد بلغ سعر البطارية الواحدة ٣٢٠٠ جنيه في إبريل ٢٠٢٢ (بما يعادل ١٥٢ يورو آنذاك)، لإستيعاب كمية الطاقة الناتجة بدلاً من توصيلها بالشبكة العامة للكهرباء لكلية الزراعة.

هـ. عدد ٦ أجهزة لقياس شدة الإشعاع الشمسي Solar radiation بالوات/م^٢، كما يتضح بالشكل (٢١)، وتمثل نوع الجهاز TES 1333، ويبلغ مده حتى ٢٠٠٠ وات/م^٢ أو ٦٣٤ وحدة حرارية بريطانية BTU، وتبلغ دقة الجهاز ٠,١ وات/م^٢، وأبعاده (٦٤×١١٠) مم وبسمك ٣٤ مم، وأقصى درجة حرارة للتشغيل ٥٠ °، وأقصى رطوبة نسبية ٧٠ %، وتستوعب ذاكرة الجهاز الداخلية حفظ عدد ٢٠٠ قراءة، وبلغ سعره ٣١٠٠ جنيه في مارس ٢٠٢٢ (بما يعادل ١٤٨ يورو آنذاك).

و. جهاز Data Logger "مسجل بيانات" لقياس درجة الحرارة، كما يتضح بالشكل (٢٢)، ونوعه TEMPU 03، وتبلغ درجة حرارة التشغيل من -٣٠ ° إلى ٦٠ °، وتتراوح الرطوبة النسبية من صفر إلى ٨٥ %، وبلغت أبعاده (٣٦×٨٩) مم وبسمك ١٦ مم، وتستوعب ذاكرة الجهاز الداخلية عدد ٣٢٠٠ قراءة، وبلغ سعره ٨٦٠ جنيه في إبريل ٢٠٢٢ (بما يعادل ٤١ يورو آنذاك).

ز. عدد ٦ أجهزة لقياس فرق الجهد والتيار والقدرة في وقت واحد (LCD Display Digital Current, Voltage, Power, Energy)، كما يتضح بالشكل (٢٣)، ونوعه PZEM-061 AC، ويبلغ نطاق جهد التيار المستمر ٢٦٠ فولت، ونطاق شدة التيار المستمر ٥٠ أمبير، وتتراوح درجة حرارة التشغيل من -٢٠ ° إلى ٦٠ °، وتستوعب ذاكرة الجهاز الداخلية عدد ٣٠٠ قراءة، وبلغ سعره ٢٣٥ جنيه في مارس ٢٠٢٢، (بما يعادل ١٢ يورو آنذاك).

ح. جهاز حاسب آلي محمول لتخزين وحفظ البيانات الناتجة عن القياسات، كما يتضح بالشكل (٢٤)، ونوعه HP EliteBook 840 G3، والمعالج المستخدم Processor "انتل كور" intel® core™ I5-7300 CPU @ 2.60 GHz 2.71 GHz، وتبلغ الذاكرة المثبتة RAM ٨ جيجابايت، ونوع النظام المستخدم نظام تشغيل ويندوز ٦٤ بت، معالج x64-based.

ط. برنامج Solar Power Monitor مورد من شركة "ماست" MUST ومحمل على سعر المحول، وتم استخدام البرنامج Version 2.2.81، لمتابعة عملية رصد وقياس البيانات.



شكل (١٩) المحول المستخدم في التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (١٨) ألواح الطاقة الكهروضوئية المستخدمة في التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (٢١) جهاز قياس شدة الاشعاع الشمسي المستخدم في التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (٢٠) البطاريات المستخدمة في التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (٢٣) جهاز قياس فرق الجهد والتيار (Multi meter)
المستخدم في التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (٢٢) جهاز قياس درجة الحرارة المستخدم في
التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤

شكل (٢٤)
جهاز الحاسب الآلي المحمول المستخدم في التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



٢-١-٤ وصف التجربة

تم تثبيت الألواح الكهروضوئية كالتالي: ٤ ألواح مثبتة على الجدران الخارجية لنموذج التجربة، موجهة تجاه الجهات الأصلية، وتم تثبيت لوحين على السطح، أحدهم أفقي، والآخر مائل بزواوية ٣٠° اتجاه الجنوب، والتي تعتبر الزاوية المثلى للوح بالنسبة لخط العرض، كما يتضح بالشكلين (٢٥) و(٢٦)، ثم توصيل كل لوح بجهاز الأفوميتر لقياس الفولت والأمبير

الناتج عن اللوح، كذلك تم وضع أجهزة قياس شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة بجانب الألواح، وتم توصيل تلك الأجهزة إلى المحول، وتمت برمجة ومزامنة أجهزة قياس شدة السطوع الشمسي ودرجة الحرارة والأفوميتر بحيث تقيس قراءة كل ساعة، وبدأ تسجيل القراءات بداية من يوم الأحد الموافق ١ يناير عام ٢٠٢٣ الساعة ٦:٤٨ صباحاً حتى الساعة ٥:٢٢ مساءً يوم الأحد الموافق ٣١ ديسمبر ٢٠٢٣، وتم مراعاة المرور الأسبوعي يوم الجمعة من الساعة ٢ إلى ٥ مساءً لتفريغ القراءات من ذاكرة أجهزة القياس، وإجراء صيانة الألواح التي تشمل إزالة الأتربة والغبار بشكل يدوي. تم نقل قراءات أجهزة القياس إلى الحاسب المحمول بشكل دوري أسبوعياً، وتسجيل القراءات على برنامج الأكسيل MS Excel 2016، مع مراعاة التعامل مع القراءات المسجلة في الفترة من شروق الشمس إلى غروبها وفقاً لبيانات هيئة الأرصاد الجوية، وتوقيت بداية ونهاية تسجيل قراءات الإشعاع الشمسي من أجهزة قياس شدة الإشعاع، وقد تم تجاهل التوقيت الصيفي أثناء إجراء التجربة على اعتبار أن بيانات هيئة الأرصاد الجوية وملف الطقس الملحق ببرامج المحاكاة لا يعتمدان التوقيت الصيفي لمصر.



شكل (٢٦) متابعة التجربة
المصدر: تصوير الباحث في الفترة من ٢-١-٢٣-٢٠٢٣
حتى ٢٩-١١-٢٣-٢٠٢٣

شكل (٢٥) الأوضاع المختلفة للألواح الكهروضوئية بنموذج التجربة
المصدر: تصوير الباحث في ١٥-٩-٢٣-٢٠٢٣

٣-١-٤ نتائج التجربة

تمثلت نتائج التجربة على مدار العام من خلال عدد ٢١٩٠ جدول، يمثلوا ٣٦٥ جدول لكل لوح من الألواح، ويضم كل جدول من ١٢ إلى ١٤ صف وفقاً لعدد ساعات شروق الشمس، ويوضح الجدول (١) النتائج الخاصة بالألواح المتواجدة في الواجهات والسطح في فصول السنة الأربعة في الأيام ١٧ يناير ٢٠٢٣ الممثل لفصل الشتاء، ويوم ١٥ إبريل ٢٠٢٣ الممثل لفصل الربيع، ويوم ١٧ يوليو ٢٠٢٣ الممثل لفصل الصيف، ويوم ١٤ نوفمبر ٢٠٢٣ الممثل لفصل الخريف، تم اختيار تلك الأيام لتعبر عن كل فصل من فصول السنة، حيث يوضح العمود الأول وقت سطوع الشمس حتى غروبها، والعمود الثاني درجة

جدول (١) إنتاج الكهرباء لأوضاع الألواح السنّة وفقاً لفصول السنة لعام ٢٠٢٣

أنواع الواجهات								أنواع السطح				زاوية ارتفاع الشمس	متوسط درجة الحرارة	الوقت
الواجهة الشمالية		الواجهة الشرقية		الواجهة الغربية		الواجهة الجنوبية		الوضع الأفقى		الوضع عمالئ بزأوية 30				
الكهرباء المنتجة بالواط	متوسط شدة الإشعاع الشمسى	الكهرباء المنتجة بالواط	متوسط شدة الإشعاع الشمسى	الكهرباء المنتجة بالواط	متوسط شدة الإشعاع الشمسى	الكهرباء المنتجة بالواط	متوسط شدة الإشعاع الشمسى	الكهرباء المنتجة بالواط	متوسط شدة الإشعاع الشمسى	الكهرباء المنتجة بالواط	متوسط شدة الإشعاع الشمسى			
فصل الشتاء يوم 17 يناير 2023														
1.2	3.0	10.0	49.0	2.0	3.0	45.0	24.0	8	8.0	11.7	18.95	14.0	14.09	7:00 AM
0.5	37.0	33.0	407.0	4.0	37.0	64.0	297.0	12	166.0	51.2	285.86	24.0	15.98	8:00 AM
0.7	58.0	41.0	473.0	5.0	58.0	70.0	471.0	22	324.0	71.8	502.92	31.0	17.69	9:00 AM
2.0	71.0	57.0	439.0	8.0	71.0	82.0	633.0	40	475.0	84.2	710.67	36.0	18.87	10:00 AM
8.0	79.0	44.0	290.0	11.0	79.0	56.0	681.0	48	543.0	84.2	788.84	39.0	19.17	11:00 AM
17.0	88.0	27.0	88.0	16.0	150.0	39.0	690.0	67	565.0	77.0	808.15	37.0	19.48	12:00 PM
12.0	84.0	11.0	84.0	20.0	298.0	28.0	624.0	78	508.0	64.2	726.31	31.0	19.39	1:00 PM
7.0	73.0	7.0	73.0	31.0	409.0	74.0	550.0	61	422.0	55.6	620.54	22.0	18.34	2:00 PM
5.0	54.0	5.0	54.0	60.0	457.0	62.0	435.0	43	294.0	51.8	460.16	12.0	17.17	3:00 PM
4.0	32.0	4.0	32.0	51.0	402.0	37.0	278.0	31	145.0	35.4	261.13	9.0	15.53	4:00 PM
1.4	2.0	1.0	2.0	28.0	16.0	23.0	8.0	14	4.0	18.9	6.94	2.0	14.61	5:00 PM
فصل الربيع يوم 15 ابريل 2023														
0.5	45	35	154.0	3	55	31	19	56	235	51.3	218	8.0	19.25	6:00 AM
0.7	79	51	458.0	5	81	42	77	25	454	48.0	451	21.0	21.93	7:00 AM
0.9	81	63	625.0	8	98	50	200	32	652	67.4	671	33.0	23.66	8:00 AM
8.0	98	69	631.0	12	107	52	318	44	800	83.2	839	46.0	25.60	9:00 AM
16.0	107	78	526.0	20	112	44	412	56	890	93.3	942	58.0	27.04	10:00 AM
20.0	112	27	352.0	24	236	29	469	71	899	89.3	950	67.0	27.29	11:00 AM
19.0	115	21	115.0	27	430	23	475	96	855	68.7	901	69.0	27.83	12:00 PM
17.0	110	14	110.0	38	580	14	445	118	740	60.3	771	63.0	27.84	1:00 PM
11.0	100	11	100.0	51	676	13	371	92	590	73.8	601	53.0	26.54	2:00 PM
8.0	87	8	87.0	83	679	11	273	80	398	76.1	386	41.0	26.43	3:00 PM
8.0	66	3	66.0	92	543	31	151	74	194	65.0	165	28.0	24.45	4:00 PM
0.8	75	1	41.0	54	64	8.0	47	12	11	21.6	8	15.0	21.45	5:00 PM
فصل الصيف يوم 17 يوليو 2023														
1.4	108.0	18.0	239.0	4.0	30.0	10.0	30.0	13	101.0	35.5	63.0	12.0	26.46	6:00 AM
9.0	176.0	30.0	480.0	6.0	65.0	18.0	65.0	24	289.0	57.2	227.0	25.0	28.70	7:00 AM
11.0	185.0	48.0	639.0	9.0	90.0	22.0	90.0	38	514.0	70.7	448.0	37.0	30.57	8:00 AM
18.0	97.0	62.0	676.0	11.0	86.0	29.0	177.0	52	734.0	89.4	675.0	50.0	32.64	9:00 AM
18.0	83.0	76.0	557.0	16.0	83.0	32.0	253.0	73	895.0	86.3	849.0	63.0	34.29	10:00 AM
23.0	82.0	49.0	358.0	21.0	82.0	13.0	302.0	84	980.0	78.7	945.0	75.0	34.58	11:00 AM
28.0	83.0	36.0	83.0	34.0	193.0	5.0	318.0	140	1010.0	56.4	978.0	81.0	35.26	12:00 PM
16.0	81.0	22.0	81.0	52.0	416.0	4.0	293.0	124	972.0	45.6	935.0	72.0	35.44	1:00 PM
12.0	77.0	16.0	77.0	66.0	607.0	3.0	231.0	109	874.0	56.6	823.0	60.0	35.47	2:00 PM
9.0	85.0	11.0	71.0	82.0	738.0	30.0	122.0	82	720.0	67.1	650.0	47.0	34.50	3:00 PM
9.0	166.0	9.0	62.0	76.0	783.0	21.0	62.0	73	527.0	61.8	437.0	34.0	32.80	4:00 PM
4.0	208.0	6.0	47.0	56.0	717.0	15.0	47.0	56	316.0	51.6	214.0	22.0	29.91	5:00 PM
2.0	179.0	4.0	24.0	41.0	464.0	8.0	24.0	31	110.0	39.2	48.0	9.0	27.88	6:00 AM
فصل الخريف يوم 14 نوفمبر 2023														
0.6	22.0	23.0	308.0	0.4	22.0	41.1	172.0	10	87.0	37.4	150.0	9.0	21.72	7:00 AM
0.9	48.0	32.0	521.0	0.7	48.0	63.0	404.0	22	267.0	67.7	408.0	20.0	23.61	8:00 AM
4.0	62.0	74.0	528.0	8.0	62.0	83.0	576.0	35	435.0	84.6	630.0	29.0	25.10	9:00 AM
6.0	73.0	63.0	415.0	11.0	73.0	77.0	689.0	41	560.0	90.2	788.0	37.0	26.15	10:00 AM
12.0	85.0	61.0	241.0	14.0	85.0	65.0	718.0	46	612.0	81.1	841.0	41.0	26.37	11:00 AM
16.0	90.0	21.0	90.0	22.0	228.0	46.0	691.0	73	597.0	62.1	814.0	41.0	26.56	12:00 PM
12.0	85.0	17.0	85.0	34.0	383.0	44.0	638.0	84	538.0	52.1	739.0	37.0	26.31	1:00 PM
9.0	69.0	7.0	69.0	41.0	484.0	40.0	540.0	54	423.0	56.9	599.0	30.0	24.99	2:00 PM
0.7	52.0	5.0	52.0	60.0	518.0	71.1	411.0	43	279.0	50.4	420.0	20.0	23.45	3:00 PM
0.4	26.0	1.0	26.0	51.0	400.0	64.0	227.0	31	110.0	37.2	196.0	9.0	21.80	4:00 PM
0.3	8.0	0.5	7.0	24.0	105.0	11.0	42.0	18	44.0	14.2	57.0	3.0	20.79	5:00 PM

الحرارة المقاسة من خلال جهاز Data Logger، ويوضح العمود الثالث زاوية ارتفاع الشمس من خلال برنامج PVGIS Version 5.2، ويوضح العمودان الرابع والخامس الوضع الأول للألواح المائلة بزاوية ٣٠° على السطح، من خلال شدة الإشعاع الشمسي، وكمية الكهرباء الناتجة لكل ساعة أثناء سطوع الشمس، ويوضح العمودان السادس والسابع الوضع الأفقي للألواح السطح، ويوضح العمودان الثامن والتاسع بيانات الواجهة الجنوبية، وتوضح باقي الأعمدة من العمود رقم (١٠) إلى (١٥) بيانات الواجهات الغربية والشرقية والشمالية.

ويتناول الجدول (٢) إجمالي إنتاج الكهرباء للأوضاع المختلفة على مدار شهور العام، حيث يوضح العمود الأول شهور السنة، والعمود الثاني متوسط درجة الحرارة لكل شهر، ويوضح العمودان الثالث والرابع البيانات الخاصة للوضع المائل للألواح السطح، من حيث متوسط شدة الإشعاع الشمسي شهرياً بالوات ساعة، وكمية الكهرباء الناتجة، وعلى هذا المنوال توضح كل من الأعمدة من (٥) إلى (١٤) البيانات الخاصة للوضع الأفقي للألواح السطح وبيانات الواجهات الأربع، ويوضح الصف الأخير من الجدول إجمالي الكهرباء الناتجة من كل لوح من الحالات الست في عام ٢٠٢٣.

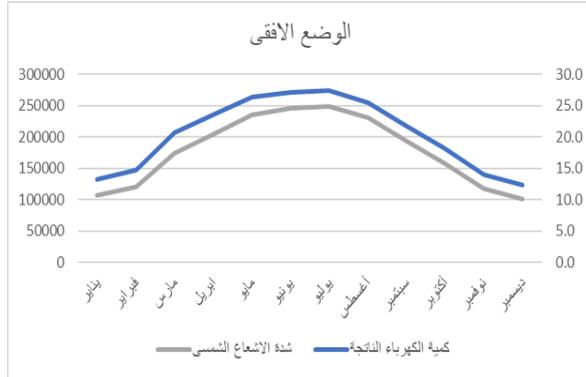
جدول (٢) إجمالي إنتاج الكهرباء لأوضاع الألواح الستة على مدار شهور العام

الشهور		متوسط درجة الحرارة		ألواح السطح						ألواح الواجهات	
				الوضع المائل بزاوية 30		الوضع الأفقي		الواجهة الجنوبية	الواجهة الغربية	الواجهة الشرقية	الواجهة الشمالية
متوسط شدة الإشعاع الشمسي	بالتكيلو وات ساعة	متوسط شدة الإشعاع الشمسي	بالتكيلو وات ساعة	متوسط شدة الإشعاع الشمسي	بالتكيلو وات ساعة	متوسط شدة الإشعاع الشمسي	بالتكيلو وات ساعة	متوسط شدة الإشعاع الشمسي	بالتكيلو وات ساعة	متوسط شدة الإشعاع الشمسي	بالتكيلو وات ساعة
14.0	155800	19.2	107100	13.2	107100	18.1	145400	7.3	61500	7.5	61700
15.0	157100	18.9	120900	14.7	120900	15.5	127200	8.1	68100	8.4	70000
18.0	201200	23.6	174200	20.7	174200	15.2	130000	11.6	99500	10.6	89300
21.0	208300	23.8	203200	23.5	203200	10.7	97800	12.6	110400	11.4	98100
26.0	219300	24.5	235100	26.4	235100	7.2	71500	13.6	121400	12.3	108500
28.0	217500	23.9	245300	27.1	245300	5.1	54200	14.1	127900	12.1	108400
30.0	226100	24.8	249300	27.4	249300	5.9	62500	14.9	135000	11.7	105200
30.0	227300	24.9	230500	25.4	230500	9.1	89300	14.1	128100	11.6	104000
28.0	214300	23.8	192900	21.7	192900	13.4	122400	11.9	107300	11.1	98700
26.0	199000	22.7	157300	18.1	157300	17.4	150300	10.0	88800	10.0	87700
20.0	167600	19.9	117200	13.9	117200	18.3	152000	8.0	69100	8.2	70100
17.0	154100	18.8	101600	12.3	101600	18.5	150500	7.1	60600	7.4	61900
-	-	-	-	244.4	-	154.4	-	133.3	-	122.2	-

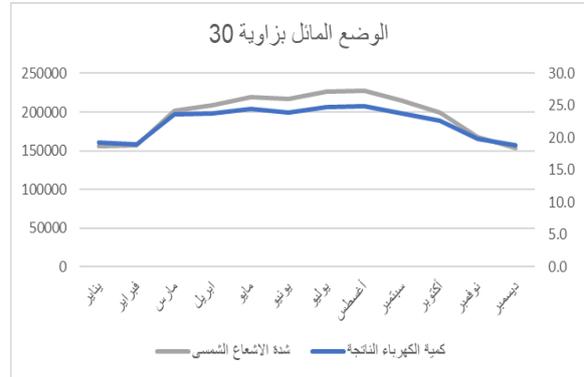
من خلال تحليل نتائج جدولين رقمي (١) و(٢) يتضح لنا ما يلي:-

بالنسبة لألواح السطح المائلة يتضح أن أفضل فترة لإنتاج الكهرباء في شهرى أغسطس ويوليو بإجمالى ٢٤,٩ و ٢٤,٨ ك.و.س.م^٢ على التوالي، وأقل فترة للإنتاج شهرى ديسمبر وفبراير بإجمالى ١٨,٨ و ١٨,٩ ك.و.س.م^٢ على التوالي، وينتج المتر المربع الواحد من اللوح طاقة سنوية بمقدار ٢٦٩ ك.و.س.م^٢/سنة، كما يتضح بالشكل (٢٧).

بالنسبة لألواح السطح الأفقية يتضح أن أفضل شهر لإنتاج الكهرباء هو شهر يوليو بإجمالي ٢٧,٤ ك.و.س.م^٢، وأقل شهر للإنتاج هو شهر ديسمبر بإجمالي ١٢,٣ ك.و.س.م^٢، وينتج المتر المربع الواحد من اللوح طاقة سنوية بمقدار ٢٤٤,٤ ك.و.س.م^٢/سنة، كما يتضح بالشكل (٢٨).



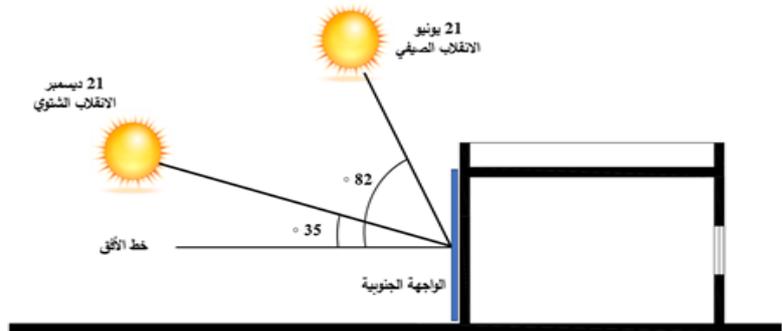
شكل (٢٨) إنتاج الكهرباء لألواح السطح الأفقية



شكل (٢٧) إنتاج الكهرباء لألواح السطح المائلة

بالنسبة للألواح الرأسية المثبتة في الواجهة الجنوبية يتضح أن أفضل شهر لإنتاج الكهرباء هو شهر ديسمبر بإجمالي ١٨,٥ ك.و.س.م^٢، وذلك لأن زاوية ميل ارتفاع الشمس تتراوح من ٥° إلى ٣٥°، وينتج عن ذلك أن زاوية سقوط أشعة الشمس على الواجهة تكون بشكل شبه عمودي وقت مرور الشمس على الواجهة الجنوبية، مما يرفع شدة الإشعاع الشمسي، وأقل شهر للإنتاج هو شهر يونيو بإجمالي ٥,١ ك.و.س.م^٢، لأن زاوية ميل ارتفاع الشمس تتراوح من ٩° إلى ٨٢°، مما يجعل زاوية سقوط أشعة الشمس على الواجهة بشكل يكاد يكون موازي لها وقت مرور الشمس على الواجهة الجنوبية، مما يخفض شدة الإشعاع الشمسي، كما يتضح بالشكل (٢٩)، وينتج المتر المربع الواحد من اللوح طاقة سنوية بمقدار ١٥٤,٤ ك.و.س.م^٢/سنة، كما يتضح بالشكل (٣٠).

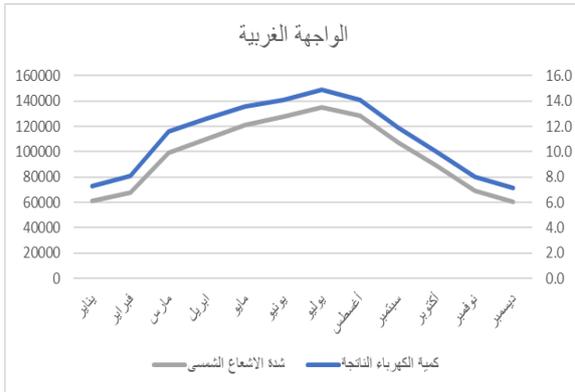
شكل (٢٩) زاوية ارتفاع الشمس في الصيف والشتاء
المصدر: الباحث



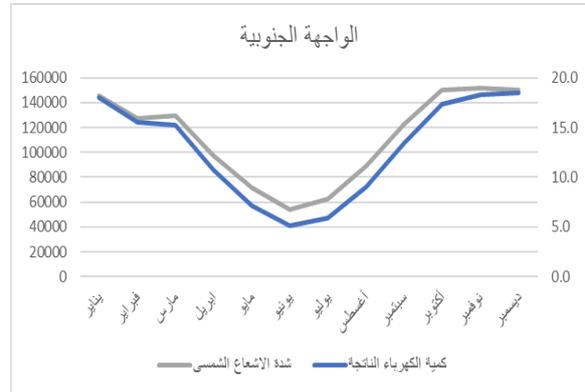
بالنسبة لألواح الواجهة الغربية يتضح أن أفضل شهر لإنتاج الكهرباء هو شهر يوليو بإجمالي ١٤,٩ ك.و.س.م^٢، وأقل شهر للإنتاج هو شهر ديسمبر بإجمالي ٧,١ ك.و.س.م^٢، وينتج المتر المربع الواحد من اللوح طاقة سنوية بمقدار ١٣٣,٣ ك.و.س.م^٢/سنة، كما يتضح بالشكل (٣١).

بالنسبة لألواح الواجهة الشرقية يتضح أن أفضل شهر لإنتاج الكهرباء هو شهر مايو بإجمالي ١٢,٣ ك.و.س.م^٢، وأقل شهر للإنتاج هو شهر ديسمبر بإجمالي ٧,٤ ك.و.س.م^٢، وينتج المتر المربع الواحد من اللوح طاقة سنوية بمقدار ١٢٢,٢ ك.و.س.م^٢/سنة، كما يتضح بالشكل (٣٢).

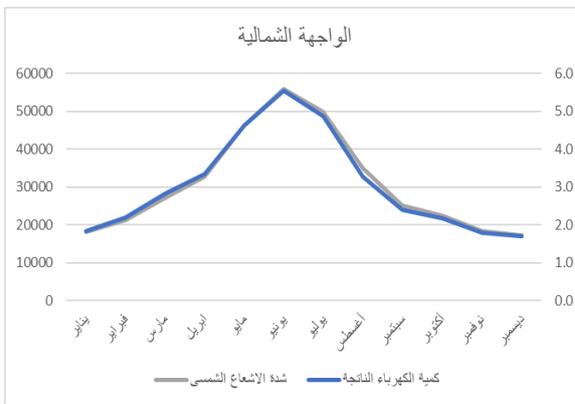
بالنسبة لألواح الواجهة الشمالية يتضح أن أفضل شهر لإنتاج الكهرباء هو شهر يونيو بإجمالي ٥,٦ ك.و.س.م^٢، وأقل شهر للإنتاج هو شهر ديسمبر بإجمالي ١,٧ ك.و.س.م^٢، وينتج المتر المربع الواحد من اللوح طاقة سنوية بمقدار ٣٦,٦ ك.و.س.م^٢/سنة، كما يتضح بالشكل (٣٣).



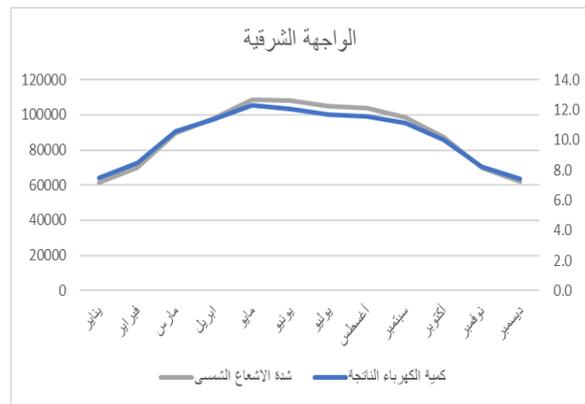
شكل (٣١) إنتاج الكهرباء للواجهة الغربية



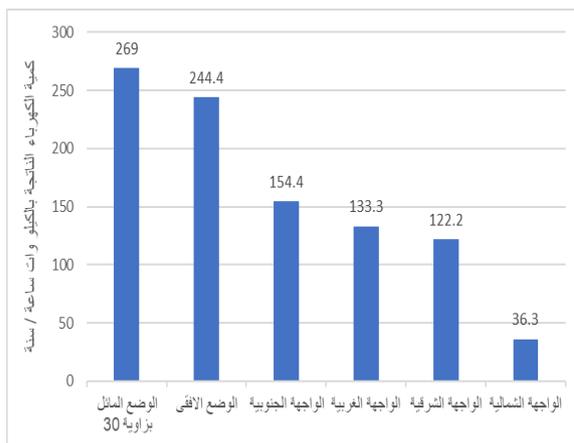
شكل (٣٠) إنتاج الكهرباء للواجهة الجنوبية



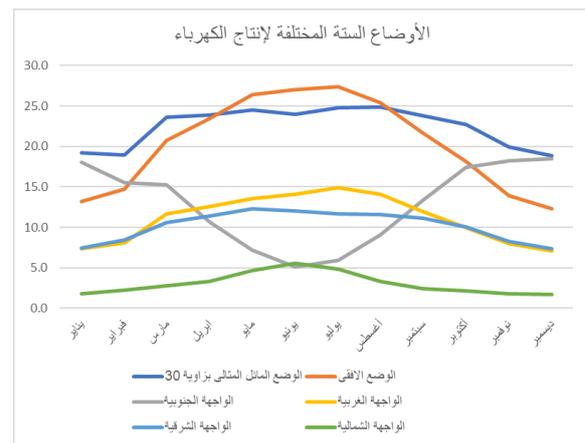
شكل (٣٣) إنتاج الكهرباء للواجهة الشمالية



شكل (٣٢) إنتاج الكهرباء للواجهة الشرقية

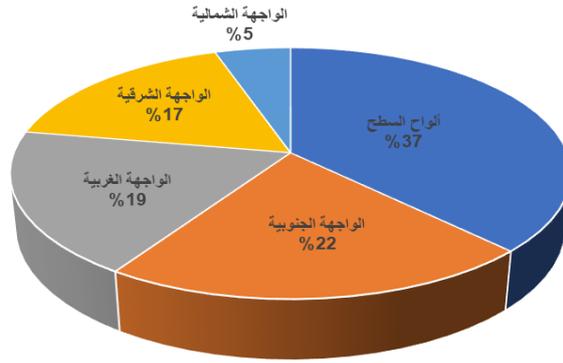


شكل (٣٥) أفضل الأوضاع لإنتاج الكهرباء بالترتيب للأوضاع الستة للألواح



شكل (٣٤) كمية الكهرباء الناتجة للأوضاع الستة للألواح

شكل (٣٦) النسبة المئوية للإجمالي الكهربياء المنتجة من النظام



جدول رقم (٣) الأوضاع الستة للألواح والعلاقة بين كمية الكهربياء المنتجة من السطح بباقي الواجهات

م	الأوضاع المختلفة لتثبيت الألواح	الطاقة المنتجة السنوية ك.و.س/سنة	النسبة المئوية من إجمالي الكهربياء المنتجة من النظام	النسبة المئوية بالنسبة إلى السطح
1	الوضع المائل بزاوية 30	269	37%	0%
	الوضع الأفقي	244.4	36%	0%
الواجهات	الواجهة الجنوبية	154.4	22%	57%
	الواجهة الغربية	133.3	19%	49%
	الواجهة الشرقية	122.2	17%	45%
	الواجهة الشمالية	36.3	5%	13%

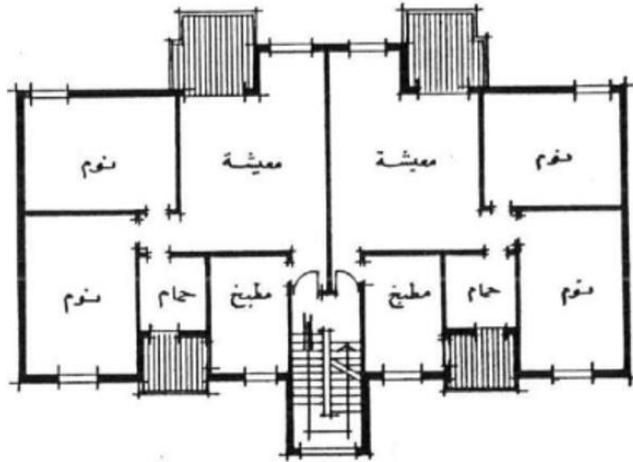
ويتضح من التحليل السابق والأشكال من (٣٤) إلى (٣٦) أن أفضلية تثبيت الألواح تتوزع وفقاً للترتيب الموضح في الجدول (٣)، ومن خلال ذلك يتضح أن كمية الكهربياء الناتجة من السطح سواء المائل أو الأفقي هي الأعلى مقارنة بباقي الواجهات، تليها كمية الكهربياء الناتجة من الواجهة الجنوبية التي تمثل نحو ٥٧% من الكهربياء الناتجة من السطح، تليها كمية الكهربياء الناتجة من الواجهة الغربية التي تمثل ٤٩% من الكهربياء الناتجة من السطح، ثم الواجهة الشرقية بنسبة ٤٥%، ثم الواجهة الشمالية بنسبة ١٣% من الكهربياء الناتجة من السطح، فضلاً عن أن الكهربياء الناتجة عنها تمثل ٥% من إجمالي الكهربياء الناتجة عن النظام، مما يجعلها غير ذات جدوى اقتصادية في إنتاج الكهربياء. وبالتالي يمكن تلخيص النتائج السابقة في أن أفضل أوضاع لتثبيت الألواح الشمسية بنظام BIPV في مصر هي الألواح المائلة على السطح بزاوية ٣٠°، ثم الألواح الأفقية، ثم الألواح الرأسية المثبتة على الواجهة الجنوبية، ثم الواجهة الغربية، ثم الواجهة الشرقية، ثم الواجهة الشمالية، مع الاستغناء عن وضع الألواح في الواجهة الشمالية.

٢-٤ الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام النظام

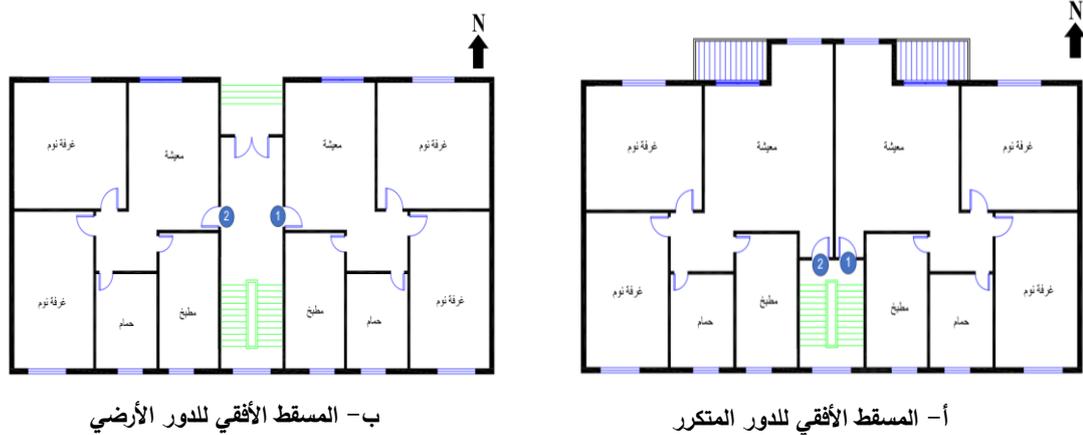
تمثل الإجراء الثاني من الدراسة التطبيقية في حساب الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام النظام، من خلال اختيار نموذج نمطي لأحدى العمارات السكنية للإسكان الاقتصادي، من نماذج وزارة الإسكان والتعمير التي تم إعدادها في ستينات وسبعينات القرن العشرين [١]، والنموذج عبارة عن عمارة سكنية مكونة من ٤ طوابق، ويضم كل طابق وحدتين سكنيتين، وتبلغ مساحة الوحدة

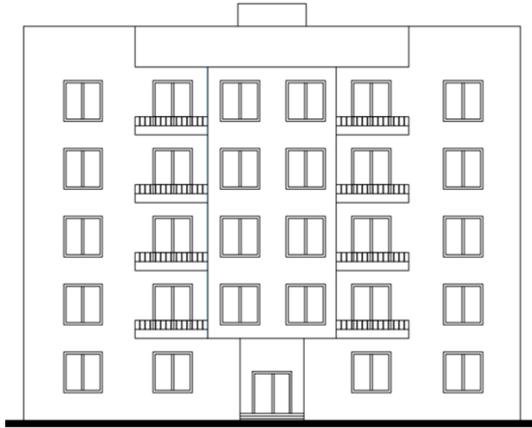
الإجمالية ١٢٢م^٢، وتضم الوحدة غرفتين نوم، ومنطقة استقبال وطعام، ومطبخ وحمام، كما يتضح بالمسقط الأفقي (٣٧). ولتركيب ألواح النظام على النموذج المختار قام البحث بإجراء التعديلات التالية: -

- (1) تعديل ارتفاع دروة السطح من ١ إلى ٢م لتثبيت نظام BAPV على السطح، ووضع الألواح بشكل مائل بزاوية ٣٠° ناحية الجنوب، وتبلغ أبعاد اللوح المقترح (١٦٤٠×٩٩٢مم)، بقدرة ٢٥٠ وات، وبكفاءة ١٦%.
- (2) تثبيت ألواح BIPV على الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية، كما هو موضح بالشكل (٣٨)، وتبلغ أبعاد اللوح المقترح (٦٠٠×٦٠٠مم)، وتعديل أبعاد فتحات النوافذ لتصبح (٨،٨×١،٨م) لغرف النوم والسلم الرئيسي، و(٢،٨×١،٨م) للحمام والمطبخ، بما يتناسب مع الموديول المقترح للألواح.
- (3) عدم تثبيت ألواح BIPV في الواجهة الشمالية، وذلك بسبب ضعف إنتاجها من الكهرباء كما اتضح من التجربة.
- (4) عدم تثبيت ألواح BIPV في الدور الأرضي، حتى لا يكون عرضه للتلف أو الكسر من قبل المشاة.

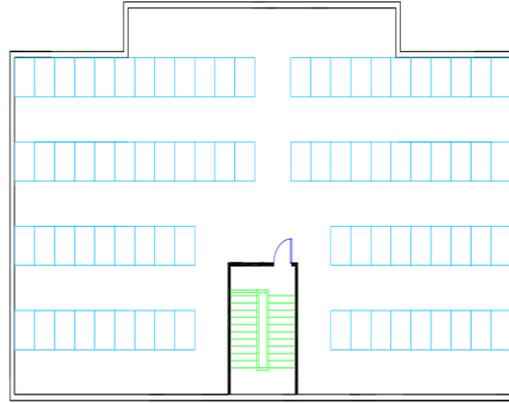


شكل (٣٧)
المسقط الأفقي المتكرر لنموذج الدراسة قبل
التعديل
المصدر: نسمات عبد القادر، مدخل وتطبيق في
تصميم وتخطيط المناطق السكنية

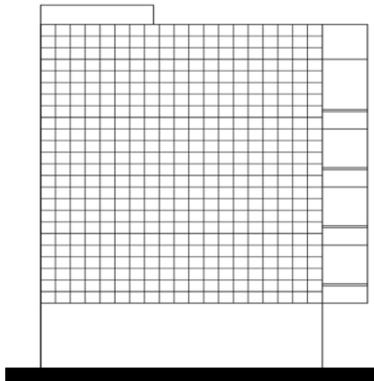




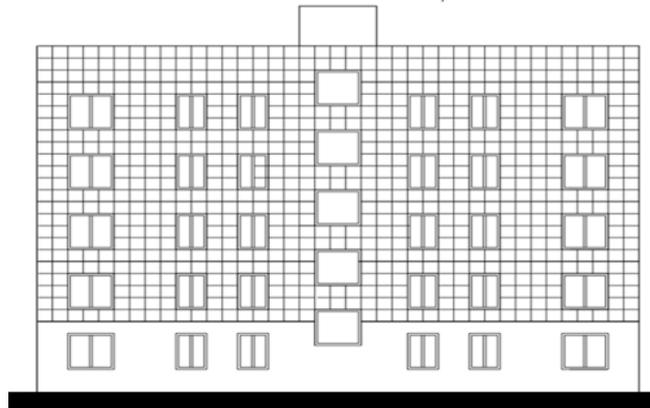
د- الواجهة الشمالية (لم يتم تعديلها)



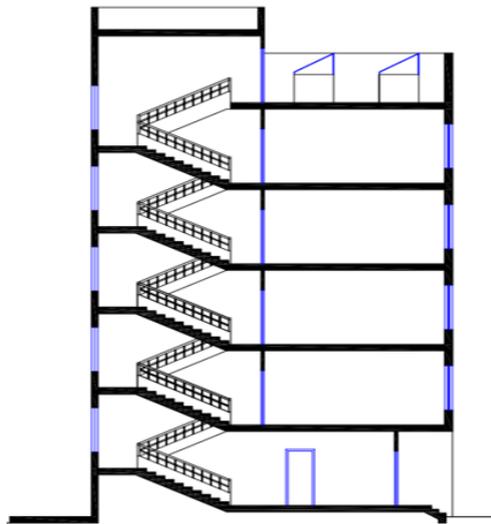
ج- المسقط الأفقي للسطح بعد تثبيت ألواح BAPV



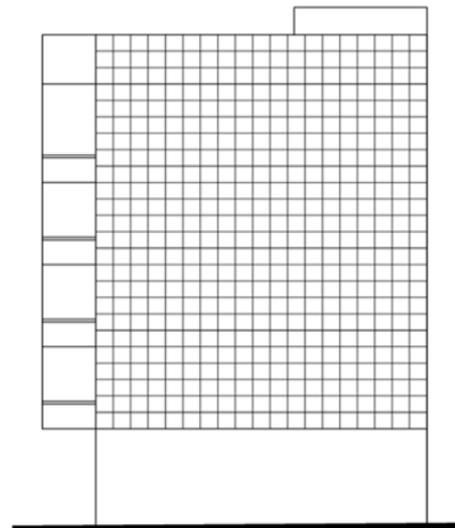
و- الواجهة الشرقية بعد تثبيت الألواح



ه- الواجهة الجنوبية بعد تثبيت الألواح



ح- قطاع رأسي عمودى على المدخل



ز- الواجهة الغربية بعد تثبيت الألواح

شكل (٣٨) الرسومات المعمارية لنموذج الدراسة بعد التعديل

لحساب تكلفة النظام يتضح لنا المعطيات التالية: -

- إجمالي مسطح الألواح في الواجهة الشرقية ١٦٤ م^٢.
- إجمالي مسطح الألواح في الواجهة الغربية ١٦٤ م^٢.
- إجمالي مسطح الألواح في الواجهة الجنوبية بعد خصم مساحة الفتحات ٢٤٨,٤ م^٢.
- إجمالي مسطح الألواح في جميع واجهات النموذج = ١٦٤ م^٢ + ١٦٤ م^٢ + ٢٤٨,٤ م^٢ = ٥٧٦,٤ م^٢.
- سعر توريد وتركيب المتر المسطح من الألواح على الواجهات ١٥٠ يورو (سعر اليورو في ديسمبر ٢٠٢٣ بلغ ٣٣ جنيه مصري) بما يعادل ٥٠٠٠ جنيه مصري، وبالتالي تكون تكلفة النظام المثبت على الواجهات = ٥٧٦,٤ م^٢ × ٥٠٠٠ جنيه = ٢٨٨٢٠٠٠ جنيه.
- إجمالي مسطح الألواح بنظام BAPV المثبت على السطح ١٠٠ م^٢، وذلك بعد خصم مسارات الحركة المستخدمة لأعمال التنظيف والصيانة وتلافي الظلال.
- سعر توريد وتركيب المتر المسطح من ألواح BAPV على السطح ٣٨٠٠ جنيه مصري، حيث إن النظام متداول داخل مصر، ويوجد العديد من الوكلاء المعتمدين لتجميعه، وهذا السعر تم تحديده بعد تحديث الأسعار في ديسمبر ٢٠٢٣، وبالتالي تكون تكلفة النظام المثبت على السطح = ١٠٠ م^٢ × ٣٨٠٠ جنيه = ٣٨٠ ألف جنيه.
- وبالتالي تكون إجمالي تكلفة النظام = تكلفة نظام BIPV المثبت على الواجهات + تكلفة نظام BAPV المثبت على السطح = ٢,٨٨٢ ألف جنيه + ٣٨٠ ألف جنيه = ٣,٢٦٢ مليون جنيه.

٤-٢-١ حساب الكهرباء الناتجة عن النظام

- الكهرباء الناتجة من الواجهة الشرقية = مساحة الواجهة × المتوسط السنوي لإنتاج الكهرباء للواجهة الشرقية بالكيلو وات ساعة للمتر المربع = ١٦٤ م^٢ × ١٢٢ ك.و.س/سنة = ٢٠٠٠٨ ك.و.س/سنة.
- الكهرباء الناتجة من الواجهة الغربية = مساحة الواجهة × المتوسط السنوي لإنتاج الكهرباء للواجهة الغربية بالكيلو وات ساعة للمتر المربع = ١٦٤ م^٢ × ١٣٣ ك.و.س/سنة = ٢١٨١٢ ك.و.س/سنة.
- الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية = مساحة الواجهة × المتوسط السنوي لإنتاج الكهرباء للواجهة الجنوبية بالكيلو وات ساعة للمتر المربع = ٢٤٨,٤ م^٢ × ١٥٤ ك.و.س/سنة = ٣٨٢٥٣,٦ ك.و.س/سنة.
- الكهرباء الناتجة من السطح = مساحة السطح × المتوسط السنوي لإنتاج الكهرباء للسطح بالكيلو وات ساعة للمتر المربع = ١٠٠ م^٢ × ٢٦٩ ك.و.س/سنة = ٢٦٩٠٠ ك.و.س/سنة.
- وبالتالي يكون إجمالي الكهرباء الناتجة عن النظام في السنة = ٢٠٠٠٨ + ٢١٨١٢ + ٣٨٢٥٣,٦ + ٢٦٩٠٠ = ١٠٦٩٧٣,٦ ك.و.س/سنة.

٤-٢-٢ حساب مدة استرداد النظام لقيمه

- قيمة الكهرباء الناتجة عن النظام في السنة = إجمالي الكهرباء المنتجة من النظام في السنة × سعر الكيلو وات ساعة = ١٠٦٩٧٣,٦ ك.و.س/سنة × ١,٦٠ (سعر الكيلو وات ساعة في ديسمبر ٢٠٢٣ بدون دعم) [٢] = ١٧١١٥٧,٧٦ جنيه.
- فترة استرداد النظام لقيمه = إجمالي تكلفة النظام ÷ إجمالي قيمة الكهرباء الناتجة عن النظام في السنة = ٣,٢٦٢ مليون جنيه ÷ ١٧١١٥٧,٧٦ جنيه = ١٩,١ سنة، علماً بأن عمر النظام ٣٠ سنة، كما أنه من المتوقع ارتفاع سعر الكيلو وات ساعة خلال السنوات المقبلة لزيادة تكلفة تشغيل المحطات الحرارية بسبب ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري بأشكاله المختلفة.

٤-٢-٣ حساب كمية الكهرباء السنوية الفائضة من نموذج الدراسة

- كمية الكهرباء السنوية التي يستهلكها نموذج الدراسة = متوسط الاستهلاك الشهري للوحدة السكنية \times إجمالي عدد الوحدات في النموذج \times ١٢ شهر = ٨٠٠ ك.و.س/شهر (متوسط استهلاك الوحدة السكنية في مصر حسب بيانات وزارة الكهرباء والطاقة) [٢٢] \times ٨ وحدات \times ١٢ شهر = ٧٦٨٠٠ ك.و.س/سنة.
- كمية الكهرباء الفائضة التي ينتجها النظام في السنة = كمية الكهرباء الناتجة عن النظام في السنة - كمية الكهرباء السنوية التي يستهلكها نموذج الدراسة = ١٠٦٩٧٣,٦ ك.و.س/سنة - ٧٦٨٠٠ ك.و.س/سنة = ٣٠١٧٣,٦ ك.و.س/سنة بما يعادل ٢٨,٣% من إجمالي الكهرباء الناتجة عن النظام، بما يعنى أن النظام يمكنه تغطيه استهلاكه بنسبة ١٢٨%، وتحقيق وفر من الطاقة يعادل من ٢٥ إلى ٣٠% من الكهرباء الناتجة.
- تبلغ قيمة الفائض من الكهرباء = كمية الكهرباء الفائضة التي ينتجها النظام في السنة \times سعر الكيلو وات ساعة = ٣٠١٧٣,٦ ك.و.س/سنة \times ١,٦٠ جنية = ٤٨٢٧٧,٧٦ جنية، وهذا المبلغ يعد كافياً لإجراء اعمال التأمين والصيانة السنوية الخاصة بالنظام.

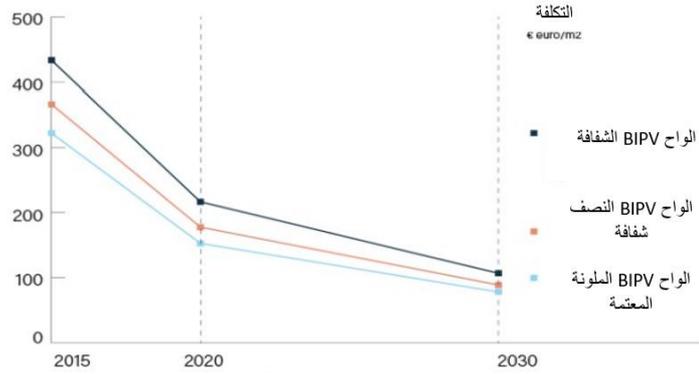
٤-٢-٤ بعض المؤشرات الاقتصادية الأخرى

- تكلفة المتر المبنى من النظام = إجمالي تكلفة النظام \div إجمالي المساحة المبنية لنموذج الدراسة = ٣,٢٦٢ مليون جنية \div ١٢٢ م^٢ (مساحة الوحدة السكنية) \div ٨ وحدات سكنية = ٣٣٤٢,٢١ جنية/م^٢.
- وبالتالي تكون تكلفة الوحدة السكنية من النظام = تكلفة المتر المبنى من النظام \times مساحة الوحدة السكنية = ٣٣٤٢ جنية/م^٢ \times ١٢٢ م^٢ = ٤٠٧٧٥٠ جنية، وهو سعر يعادل نصف سعر تشطيب الوحدة السكنية، ولكنه يعمل على سداد فاتورة استهلاك الكهرباء للوحدة السكنية بشكل مستدام.

٤-٢-٥ ملامح مؤشرات الجدوى الاقتصادية غير المباشرة

- تتراوح البصمة الكربونية للألواح الطاقة الكهروضوئية من ٤١ إلى ٦٠ جرام لكل كيلو وات ساعة، وهي نسبة منخفضة بالنسبة إلى مصادر الطاقة غير المتجددة، حيث تبلغ البصمة الكربونية للغاز الطبيعي نحو ٤٩٠ جرام لكل كيلو وات ساعة، وتبلغ البصمة الكربونية للنفط نحو ٨٢٠ جرام لكل كيلو وات ساعة، وتبلغ البصمة الكربونية للفحم نحو ٩٧٠ جرام لكل كيلو وات ساعة [٢٢].
- 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 [٢٣]، وهو ما يتضح من انخفاض سعر تكلفة المتر المربع من نظام BIPV من ٤٠٠ يورو عام ٢٠١٥ إلى ١٨٠ يورو عام ٢٠٢٢، ومن المتوقع أن يصل إلى ١٠٠ يورو عام ٢٠٣٠، كما يتضح بالشكل (٣٩).

شكل (٣٩)
تطور سعر المتر المربع من ألواح BIPV من
عام ٢٠١٥ حتى ٢٠٣٠
المصدر:
BIPVBOOST Cost-reduction
roadmap for the European BIPV
sector. October 2020



٥- النتائج:

يتضح لنا من التحليلات السابقة النتائج التالية: -

- (1) أعلى واجهة لإنتاج الكهرباء هي الواجهة الجنوبية بنسبة ٢٢%، ثم الواجهة الغربية بنسبة ١٩%، ثم الواجهة الشرقية بنسبة ١٧%، وأقل واجهة لإنتاج الكهرباء هي الواجهة الشمالية بنسبة ٥%.
- (2) يعتبر النظام ناجح اقتصادياً بدرجة كبيرة، حيث إنه يسترد تكلفته بعد ١٩ سنة في حين أن عمر النظام يصل إلى ٣٠ سنة، فضلاً عن كونه يتكفل بسداد فاتورة استهلاك الكهرباء للوحدة السكنية بشكل دائم طوال عمره، وذلك في إطار الاستهلاك العادل البالغ ٨٠٠ ك.و.س/شهرياً، بما يعادل ٢٠٠ ك.و.س/شهرياً للفرد في الدول النامية، وذلك وفقاً لما هو وارد في احصائيات منظمة الطاقة الدولية والبنك الدولي [٢].
- (3) بلغت تكلفة النظام للمتر المبنى ٣٣٤٢,٢١ جنيه/م^٢ وهو ما يعادل حوالي ٣٠% من إجمالي تكلفة تنفيذ المتر المسطح من المباني السكنية في مصر شامل التشطيب في ديسمبر ٢٠٢٣، حيث يتراوح سعر تكلفة المتر المسطح من المباني السكنية شامل التشطيب من ٨ إلى ١٢ ألف جنيه وفقاً لمتوسط أسعار الوحدات السكنية المطروحة من قبل وزارة الإسكان والتعمير، وهذه النسبة تعتبر نسبة جيدة في إطار توفير قيمة استهلاك الكهرباء بالكامل.
- (4) قيمة الكهرباء الفائضة عن النظام يمكن أن تتكفل بمصروفات صيانة وتأمين النظام طوال فترة تشغيله، فضلاً عن أن الكهرباء الفائضة سوف يتم توصيلها للشبكة العامة لتوزيع الكهرباء، وبالتالي تقوم بدعم الشبكة مما يخفف الضغط على المحطات الحرارية، كذلك يمكن استخدام فائض الكهرباء للشبكة في توليد طاقة خضراء من خلال محطات الهيدروجين الأخضر، أو بيعها لشبكات أخرى من خلال مشروعات الربط الكهربائي.
- (5) يفضل أن تكون مشروعات الإسكان التي تستخدم النظام لا يزيد ارتفاعها عن ٤ طوابق، نظراً أن مسطح السطح يمثل عامل مشترك للوحدات السكنية، فكلما زاد عدد الطوابق كلما زاد عدد الوحدات السكنية وبالتالي قل نصيب الوحدة السكنية من مسطح السطح، وبالتالي من الكهرباء المنتجة من ألواح السطح.
- (6) يصعب تطبيق هذا النظام على العمارات السكنية القائمة، ولكن يمكن تطبيقه بسهولة على المشروعات والمجاورات السكنية الجديدة في المدن الجديدة والامتدادات العمرانية المستحدثة.

٦- التوصيات

في إطار نتائج البحث يمكن للبحث أن يطرح مجموعة من التوصيات الهامة يلزم التنبيه إليها لنجاح استخدام واستمرارية النظام، وترتبط هذه التوصيات بالعديد من الهيئات والمؤسسات والوزارات في مصر، ومن أهم هذه التوصيات ما يلي: -

- (1) قد يكون من الأوقع بدء تطبيق النظام بشكل تتبناه الدولة، مما يساعد على انتشاره، ومن ثم يمكن تشجيع شركات القطاع الخاص والاستثمار الخارجي للاستثمار في هذا المجال، وبالتالي يراعى تطبيق النظام في إطار مشروعات الإسكان الكبرى التي تقوم بتنفيذها وإدارتها شركات إسكان ذات رؤوس أموال ضخمة، وقد يكون من ضمن المساهمين بها الجهات التالية: (أ) وزارة الإسكان والتعمير وهيئة المجتمعات العمرانية الجديدة لتوفير الأراضي اللازمة لبناء المجاورات السكنية ووضع التصميمات الملائمة لتركيبة النظام (ب) وزارة الكهرباء والطاقة الجديدة والمتجددة لتوريد وتركيب النظام وصيانته (ج) وزارة الصناعة لتصنيع الألواح الكهروضوئية المستخدمة في النظام (د) وزارة المالية لتوفير الاعتمادات المالية اللازمة لبناء المجاورات السكنية وتأسيس شركات لتصنيع الألواح الكهروضوئية.
- (2) بالنسبة لوزارة المالية يوصى البحث بإلغاء الجمارك على الألواح الكهروضوئية المستوردة، حيث تبلغ تكلفة الجمارك على هذه الألواح ٥% من إجمالي سعرها، وإلغاء كافة أنواع الضرائب والرسوم المفروضة عليها [١].
- (3) بالنسبة لمركز بحوث البناء والإسكان وأقسام العمارة بالجامعات المصرية يوصى البحث بتوجيه البحث العلمي المعماري في إطار ما يلي: (أ) دراسة المحددات التخطيطية لتجميع الوحدات السكنية بشكل يساعد على تلافى الظلال بين كتل المباني وبعضها، مما يضعف من كفاءة إنتاج النظام من الكهرباء (ب) دراسة المعايير التصميمية للاستفادة القصوى من الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية، ومحاولة تقليل مسطح الفتحات بالقدر الذي يسمح بدخول الإضاءة والتهوية دون الإخلال بكفاءة إنتاج الألواح للطاقة.

٧- الخلاصة

يتضح مما سبق أن نظام BIPV يعتبر من الحلول الواعدة والناجحة اقتصادياً لحل مشكلة الطاقة في مصر، وخاصة في قطاع العمران، حيث أن الألواح الكهروضوئية المدمجة في غلاف المبنى ملائمة بدرجة كبيرة لتوليد الطاقة النظيفة، بحيث يصبح المبنى آلة لتوليد الطاقة، ولكن هذه التقنية بحاجة لمزيد من البحث والتطوير المستمر، لتعزيز زيادة كفاءة الألواح الشمسية، ومحاولة إنتاجها محلياً، لخفض تكلفتها، وإلغاء الرسوم المفروضة عليها، كما يجب إعطاء مميزات لمستخدمي النظام للمساعدة على انتشاره.

٨- قائمة المراجع

- (1) Co2-emissions in 2022. IEA. 2022. <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-in-2022>. Accessed December 31, 2023, 14:30.
- (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) Electric power consumption (kWh per capita) - Egypt, Arab Rep. World Data Bank. 2023. <https://data.worldbank.org/indicator/EG.USE.ELEC.KH.PC?locations=EG>. Accessed December 28, 2023, 12:15.
- (4) Total electricity generation per person. Our World in Data.org/energy. 2023. <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-electricitygeneration?tab=chart&country=~EGY>. Accessed December 28, 2023, 12:05.
- (5) Fräss-Ehrfeld, C. (2009). "Renewable energy sources: A chance to combat climate change". (Vol 1). Kluwer Law International.
- (6) Key World Energy Statistics. <https://prod.iea.org/reports/key-world-energy-statistics-2021/final-consumption>. Accessed June 16, 2022, 1:00.
- (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.

(٨) أحمد أيمن عيسى وآخرون، (٢٠٢٣). "أثر استخدام نظام الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى على تغيير شكل العمارة المحلية". مجلة كلية الهندسة، جامعة طنطا. المجلد ٧، العدد ٢.

[10.21608/ERJENG.2023.204157.1170](https://doi.org/10.21608/ERJENG.2023.204157.1170).

(⁹) Egypt population. 2023. <https://www.worldometers.info/world-population/egypt-population/>. Accessed December 17, 2023, 20:00.

(¹) 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.

(¹) Hoyer-Klick, C. et al. "Solar Atlas for the Southern and Eastern Mediterranean, in: ISES Solar World Congress 2011".

(¹) National Investment Bank² http://www.nib.gov.eg/Arabic/ACHIEVEMENT_A/energy3-a.html. Accessed February 1, 2023, 14:00.

(¹) Ogunkeye, O. (2017), "The advent of Building Integrated Photovoltaic– BIPV and Building Applied Photovoltaic– (BAPV) as standalone off grid clean energy source in Nigeria".

(¹) 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.

(¹) Report IEA-PVPS T15-04, 2018. "Photovoltaic Power Systems Program, international definitions of BIPV".

(¹) Reijenga, T. H. & Kaan, H. F. (2011). "PV in Architecture". Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Second ed.: John Wiley & Sons.

(¹) 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.

(¹) 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

(¹) Report IEA PVPS T15-06:2019. "Compilation and Analysis of User Needs for BIPV and its Functions".

(²) 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.

(²) Solar Architecture, 2024. <https://solarchitecture.ch/>. Accessed May, 5, 2024, 10:41.

(^١) نسيمات عبد القادر وآخرون، (١٩٨٨). "مدخل وتطبيق في تصميم وتخطيط المناطق السكنية". دار نشر العربي، الطبعة الثانية، القاهرة. ص ١٥.
(^٢) وزارة الكهرباء والطاقة، هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة.

<http://www.nrea.gov.eg/Investors/FeedInTariff>. Accessed May 3, 2024, 15:35.

(²) Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC. "Technology-specific Cost and Performance Parameters". 2023. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_annex-iii.pdf. Accessed December 28, 2023, 15:05.

(²) Wignes, s. "What is the Carbon Footprint of Solar Panels?" Accessed August 31, 2023.

<https://www.solar.com/learn/what-is-the-carbon-footprint-of-solar-panels/>. Accessed December 28, 2023, 14:37.

(²) BIPVBOOST Cost-reduction⁶ "roadmap for the European BIPV sector". October 2020.

(²) World data bank, 2023. <https://data.worldbank.org/indicator>. Accessed December 28, 2023, 15:37.

(^٢) قناة العربية. "جمارك الألواح الشمسية تثير قلق المستثمرين بالقطاع في مصر". ٢٠٢٣.

<https://www.alarabiya.net/aswaq/economy/2022/01/05/>. Accessed December 28, 2023, 13:02.