



جامعة المنوفية
كلية الهندسة
قسم الهندسة المعمارية

المحددات التصميمية للمباني المولدة للطاقة لصياغة سياسة إسكان جديدة في مصر

رسالة مقدمة

استكمالاً للدراسات المقررة للحصول على درجة دكتوراه الفلسفة في الهندسة المعمارية (التصميم المعماري) من

المهندس / أحمد أيمن حافظ عيسى

مدرس مساعد بقسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة - جامعة المنوفية

تحت إشراف

أ.د. / صفاء محمود عيسى

أستاذ التصميم المعماري بقسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة - جامعة المنوفية

أ.د. / حسام الدين مصطفى

أستاذ تاريخ ونظريات العمارة ورئيس مجلس قسم الهندسة المعمارية
كلية الهندسة - جامعة المنوفية



جامعة المنوفية
كلية الهندسة
قسم الهندسة المعمارية

المحددات التصميمية للمباني المولدة للطاقة لصياغة سياسة إسكان جديدة في مصر

رسالة مقدمة

استكمالاً للدراسات المقررة للحصول على درجة دكتوراه الفلسفة في الهندسة المعمارية (التصميم المعماري) من

المهندس / أحمد أيمن حافظ عيسى

مدرس مساعد بقسم الهندسة المعمارية

كلية الهندسة - جامعة المنوفية

لجته الاشراف

(.....)

أ.د / صفاء محمود عيسى

أستاذ التصميم المعماري

قسم الهندسة المعمارية

كلية الهندسة - جامعة المنوفية

(.....)

أ.د / حسام الدين مصطفى

أستاذ تاريخ ونظريات العمارة

رئيس مجلس قسم الهندسة المعمارية

كلية الهندسة - جامعة المنوفية

وكيل الكلية للدراسات العليا والبحوث

(.....)



رئيس قسم الهندسة المعمارية

(.....)



جامعة المنوفية
كلية الهندسة
قسم الهندسة المعمارية

المحددات التصميمية للمباني المولدة للطاقة لصياغة سياسة إسكان جديدة في مصر

رسالة مقدمة

استكمالاً للدراسات المقررة للحصول على درجة دكتوراه الفلسفة في الهندسة المعمارية (التصميم المعماري) من

المهندس / أحمد أيمن حافظ عيسى

مدرس مساعد بقسم الهندسة المعمارية، بكلية الهندسة، جامعة المنوفية

لجنة الحكم والمناقشة

وافق عليها

أ.د. / صفاء محمود عيسى

أستاذ التصميم المعماري بقسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة - جامعة المنوفية

أ.د. / حسام الدين مصطفى صالح

أستاذ تاريخ ونظريات العمارة ورئيس مجلس قسم الهندسة المعمارية - كلية الهندسة -

جامعة المنوفية

أ.د. / ناجي إبراهيم القلشي

أستاذ نظم القوى الكهربائية بقسم الهندسة الكهربائية - ووكيل الكلية لشئون

خدمة المجتمع وتنمية البيئة - كلية الهندسة - جامعة المنوفية

أ.د. / محمد فهمي عبد العليم

أستاذ البيئة العمرانية المستدامة بالكلية الفنية العسكرية

نوقشت هذه الرسالة (المحددات التصميمية للمباني المولدة للطاقة لصياغة سياسة إسكان جديدة في مصر)

وأجيزت بتاريخ الخميس ١ من شهر أغسطس لعام ٢٠٢٤م الموافق ٢٥ من شهر محرم لعام ١٤٤٦هـ.



الاهداء

أهدى هذه الرسالة إلى أمى وأبى ينبوع الصبر والحنان والأمل، من أعطوني أجمل ما في حياتهما دون أن
يبخلا على بشيء، ومن لهما الفضل فى كل نجاحاتى بعد الله عز وجل، وإلى أخى سندي وقوتي
وملاذي بعد الله، من شاركوني أيام حزني وسعادتي .

كما أهدى هذه الرسالة إلى زوجتي الغالية ورفيقتي في هذه الحياة، من شاركنتي أيام حزني وسعادتي
وإلى أبنائي الغالين (آدم وآسر) أجمل ما في حياتي .

كما أهدى هذه الرسالة إلى جدتي العزيزة (نادية حبيب) رحمها الله من كانت لي عون وسند، ومن
علمتني في صغري الكثير، وشاركتني أيام حزني وسعادتي، وكنت أتمنى وجودها معي في هذا اليوم .

الباحث

شكر وتقدير

أشكر الله عز وجل الذي وفقني ومنحني نعمتي الصبر والطموح حتى أتممت هذا البحث، كما أتوجه بجزيل الشكر والعرفان لكل من أشرف على هذا البحث، ومن ساعداني في وضع قدمي على طريق العلم، ولم يبخلا بجهده أو بوقته أو بعلمه، وكاننا مثالا يحتذى به للأساتذة الجامعة من علم خلق واحترام، إلى أساتذتي الاجلاء بلجنة الاشراف على البحث: -

أ.د / حسام الدين مصطفى

أستاذ تاريخ ونظريات العمارة بقسم الهندسة المعمارية

أ.د / صفاء محمود عيسى

أستاذ العمارة والتصميم بقسم الهندسة المعمارية

وأقدم بشكر خاص إلى أساتذتي الكرام بلجنة المحكمين: -

أ.د / ناجي إبراهيم القلشي

أستاذ نظم القوى الكهربائية بقسم الهندسة الكهربائية،

ووكيل الكلية لشؤون خدمة المجتمع وتنمية البيئة

بكلية الهندسة - جامعة المنوفية

أ.د / محمد فهمي عبد العليم

أستاذ البيئة العمرانية المستدامة

الكلية الفنية العسكرية

كما أقدم شكر خاص لأساتذتي أ.د / صفاء محمود عيسى على تعاونها الدائم والمستمر ولم تبخل قط من الوقت لي للتعلم، فخير أم ومعلمة وأستاذة، ومن وضعني على الطريق، فكل الشكر والعرفان والتقدير لها .

كما أقدم شكر خاص لأساتذتي أ.د / حسام الدين مصطفى (رئيس قسم الهندسة المعمارية بالكلية) لأنه كان الأب الروحي لي ومن جعلني أحب هذا المجال، وعلى تعاونه ودعمه المستمر ولم يبخل قط من الوقت لي للتعلم، فخير أب ومعلم وأستاذ، ومن وضعني على الطريق، فكل الشكر والعرفان والتقدير له .

كما أقدم شكري وتقديري إلى أ.د / أسماء مصطفى الشامي على تعاونها ودعمها لي وتقديم المساعدة لإتمام هذا العمل، فلم تبخل بالوقت والجهد .

كل الشكر والتقدير للأستاذ الدكتور / محمد نبيه على تعاونه ودعمه لي وتقديم المساعدة لإتمام هذا العمل، فلم يبخل بالوقت والجهد .

كل الشكر والتقدير للدكتور / المعز بالله البحيري على تعاونه ودعمه لي وتقديم المساعدة لإتمام هذا العمل، فلم يبخل بالوقت والجهد .

كما أقدم شكري وتقديري إلى م/ محمد السكري رئيس شركة Summit Solar Energy على تعاونه ودعمه لي وتقديم المساعدة لإتمام هذا العمل .

كما أتقدم بخالص الشكر والتقدير لقسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة جامعة المنوفية على تعاونه وتقديم كافة سبل المساعدة والدعم لإتمام هذا العمل .

كما أقدم شكري إلى كل من ساعدني وأعانني في إتمام هذا العمل كما أتقدم بالشكر إلى أسرته قسم الهندسة المعمارية بجامعة المنوفية .

لكل هؤلاء أقدم خالص شكري وعرفاني بفضلهم، وأدعو الله أن يجزيهم عنى خير الجزاء .

الباحث

فهرس المحتويات

ب	الإهداء
ج	الشكر والتقدير
هـ	فهرس المحتويات
ط	قائمة الجداول
ك	قائمة الأشكال
ق	قائمة الاختصارات

الفصل الأول طبيعة المشكلة البحثية

١	١-١ مقدمة المشكلة البحثية
١	١-١-١ مفهوم الطاقة
٢	٢-١-١ استهلاك الطاقة
٣	٣-١-١ أزمات الطاقة
٥	٤-١-١ التغيرات المناخية
٥	١-٤-١-١ ارتفاع درجات الحرارة
٨	٢-٤-١-١ اختلال الدورة المناخية
١٠	٥-١-١ مصادر الطاقة المتجددة
١١	٢-١ مشكلة البحث
١١	٣-١ الهدف من البحث
١١	٤-١ أهمية البحث
١٢	٥-١ محددات البحث
١٢	٦-١ منهجية البحث
١٣	٧-١ الإضافة العلمية للبحث
١٣	٨-١ الدراسات السابقة
١٨	٩-١ هيكل البحث

الفصل الثاني الطاقة الشمسية

٢٠	١-٢ مصدر الطاقة الشمسية
٢٣	٢-٢ تصنيف واستخدامات الطاقة الشمسية
٢٤	١-٢-٢ الأشعة تحت الحمراء
٢٥	١-١-٢-٢ الإشعاع الحراري المباشر
٢٧	٢-١-٢-٢ تشغيل المراجل البخارية من خلال الإشعاع الحراري

٣٠	..... الأشعة فوق البنفسجية ٢-٢-٢
٣٠	..... الأشعة المرئية ٣-٢-٢
٣٢	..... تطور استخدام الطاقة الكهروضوئية ١-٣-٢-٢
٣٨	..... تطور استخدام الطاقة الكهروضوئية على المستوى المحلى ٢-٣-٢-٢

الفصل الثالث استخدام الطاقة الكهروضوئية في العمارة

٤٣	..... ١-٣ مكونات النظام الكهروضوئي
٤٣	..... ١-١-٣ الخلية الكهروضوئية
٥١	..... ٢-١-٣ اللوح أو Panel
٥٢	..... ٢-٣ النظام الكهروضوئي
٥٢	..... ١-٢-٣ أنظمة مستقلة عن الشبكة العامة OFF Grid Solar System أو Stand alone
٥٢	..... ٢-٢-٣ أنظمة مرتبطة بشبكة الكهرباء العامة ON Grid Solar System أو Grid - Tied
٥٣	..... ٣-٢-٣ أنظمة هجينة Hybrid System
٥٣	..... ٤-٢-٣ النظام المركب على سطح المبنى BAPV System
٥٧	..... ٥-٢-٣ النظام المتكامل مع غلاف المبنى BIPV System
٦٢	..... ٣-٣ أسلوب عمل نظام BIPV
٦٤	..... ١-٣-٣ الأسطح
٦٥	..... ٢-٣-٣ الواجهات
٦٨	..... ٣-٣-٣ النوافذ
٦٨	..... ٤-٣-٣ العناصر الأخرى بالمبنى
٧٠	..... ٤-٣ الاعتبارات الإنشائية والميكانيكية
٧٣	..... ٥-٣ الاعتبارات المناخية
٧٧	..... ٦-٣ الاعتبارات البيئية
٧٨	..... ٧-٣ الاعتبارات المعمارية
٧٨	..... ٨-٣ التطبيق الفعلي لنظام BIPV في العمارة
٧٨	..... ١-٨-٣ الأعمال المعمارية المستحدثة المعتمدة على نظام BIPV
٨١	..... ٢-٨-٣ أمثلة المباني المعاد تجديدها بنظام BIPV

الفصل الرابع القياس العملي للكهرباء الناتجة من الألواح الكهروضوئية

٨٧	..... ١-٤ تجربة قياس الكهرباء الناتجة عن الألواح
٨٧	..... ١-١-٤ أدوات التجربة
٩١	..... ٢-١-٤ وصف التجربة
٩٣	..... ٣-١-٤ نتائج التجربة

الفصل الخامس المحددات التصميمية للمباني المولدة للطاقة

١٠١	..... ١-٥ ارتفاع الواجهة كمحدد تصميمي
١٠١	..... ١-١-٥ ارتفاع دروة السطح
١٠٢	..... ٢-١-٥ ارتفاع الدور أو الطابق
١١٣	..... ٣-١-٥ ارتفاع المبنى المتمثل في عدد الطوابق
١١٧	..... ٢-٥ عدد الوحدات في الدور السكنى
١٣٧	..... ٣-٥ نسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة

الفصل السادس المحددات التعبيرية

١٤١	..... ١-٦ ألوان الألواح
١٤٤	..... ٢-٦ ظل المبنى
١٤٤	..... ١-٢-٦ ظل بروزات الواجهة
١٥٠	..... ٢-٢-٦ ظل كتلة المبنى

الفصل السابع محددات الموقع العام

١٦١	..... ١-٧ ظل المبنى على الأرض
١٦٤	..... ٢-٧ الأسلوب الأفضل لتجميع الوحدات السكنية

الفصل الثامن المحددات الاقتصادية

١٧١	..... ١-٨ الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام النظام
١٧٦	..... ١-١-٨ تكلفة النظام
١٧٦	..... ٢-١-٨ مدة استرداد النظام لقيمتة
١٧٧	..... ٣-١-٨ كمية الكهرباء الفائضة
١٧٧	..... ٤-١-٨ الجدوى الاقتصادية غير المباشرة

الفصل التاسع النتائج والتوصيات

١٧٩	..... ١-٩ النتائج
١٧٩	..... ١-١-٩ نتائج المحددات التصميمية
١٧٩	..... ٢-١-٩ نتائج المحددات التعبيرية
١٨٠	..... ٣-١-٩ نتائج محددات الموقع العام
١٨٠	..... ٤-١-٩ نتائج المحددات الاقتصادية
١٨١	..... ٢-٩ ملامح سياسة الإسكان الجديدة
١٨١	..... ٣-٩ التوصيات

١٠- قائمة المراجع

- ١٨٣ قائمة المصادر العربية للشبكة الدولية للمعلومات ١-١٠
١٨٤ قائمة المراجع العربية ٢-١٠
١٨٥ قائمة المراجع الإنجليزية ٣-١٠
١٨٨ قائمة المصادر الإنجليزية للشبكة الدولية للمعلومات ٤-١٠

١٩٣ **المرفقات**

١٩٧ **النشر العلمي**

١٩٩ **ملخص البحث باللغة العربية**

IV **ملخص البحث باللغة الإنجليزية**

قائمة الجداول

٥٢	..... الأبعاد الشائعة للألواح وقدراتها الكهربائية بالوات	جدول (١-٣)
٩٤	..... إنتاج الكهرباء لأوضاع الألواح الستة وفقاً لفصول السنة لعام ٢٠٢٣	جدول (١-٤)
٩٥	..... إجمالي إنتاج الكهرباء لأوضاع الألواح الستة على مدار شهور العام	جدول (٢-٤)
٩٧	..... الأوضاع الستة للألواح والعلاقة بين كمية الكهرباء المنتجة من السطح بباقي الواجهات...	جدول (٣-٤)
٩٩	..... مقارنة نتائج شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المقاسة وملفات الطقس لفصول السنة الأربعة	جدول (٤-٤)
١٠٣	..... كمية الكهرباء الناتجة للأوضاع المختلفة من ارتفاع دروة السطح	جدول (١-٥)
١٠٦	..... كمية الكهرباء الناتجة لكل وجهة بالنسبة إلى الارتفاع للنموذج الأولى	جدول (٢-٥)
١٠٩	..... تكلفة تركيب النظام للنموذج التطبيقي	جدول (٣-٥)
١١٠	..... كمية الكهرباء الإجمالية الناتجة من النموذج التطبيقي	جدول (٤-٥)
١١٢	..... العلاقة بين ارتفاع الدور وتكلفة التنفيذ والكهرباء الناتجة	جدول (٥-٥)
١١٣	..... العلاقة بين كمية الكهرباء المنتجة من السطح مقارناً بباقي الواجهات في التجربة	جدول (٦-٥)
١١٥	..... كمية الكهرباء الناتجة من النموذج الأولى من ارتفاع دور حتى ٢٠ دور	جدول (٧-٥)
١١٥	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي (١) لارتفاع الدور ٣م حتى ٢٠ دور	جدول (٨-٥)
١١٦	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي (١) لارتفاع الدور ٤م حتى ٢٠ دور	جدول (٩-٥)
١١٩	..... كمية الكهرباء الناتجة من عدد الوحدات المختلفة في الدور للنماذج الأولية المختلفة	جدول (١٠-٥)
١٢٠	..... كمية الكهرباء الناتجة للنموذج التطبيقي الأول باختلاف محوره	جدول (١١-٥)
١٢٥	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من نموذج دار مصر حتى ٢٠ دور محور شرق غرب	جدول (١٢-٥)
١٢٦	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من نموذج دار مصر حتى ٢٠ دور محور شمال جنوب	جدول (١٣-٥)
١٢٦	..... كمية الكهرباء الناتجة من وضعين نموذج دار مصر النموذج التطبيقي (٢)	جدول (١٤-٥)
١٢٩	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي رقم (٣) حتى ٢٠ دور محور شرق غرب	جدول (١٥-٥)
١٣٠	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي رقم (٣) حتى ٢٠ دور محور شمال جنوب	جدول (١٦-٥)
١٣١	..... كمية الكهرباء الناتجة من وضعين النموذج التطبيقي (٣)	جدول (١٧-٥)
١٣٤	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي رقم (٤) حتى ٢٠ دور محور شرق غرب	جدول (١٨-٥)
١٣٥	..... كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي رقم (٤) حتى ٢٠ دور محور شمال جنوب	جدول (١٩-٥)
١٣٥	..... كمية الكهرباء الناتجة من وضعين النموذج التطبيقي (٤)	جدول (٢٠-٥)
١٣٩	..... نسبة مسطح الفتحات لإنتاج الكهرباء من النموذج الأولى لارتفاع الدور ٣م	جدول (٢١-٥)
١٤٠	..... نسبة مسطح الفتحات لإنتاج الكهرباء من النموذج الأولى لارتفاع الدور ٤م	جدول (٢٢-٥)
١٤٢	..... كفاءة ألوان الألواح في إنتاج الطاقة الكهربائية حتى عام ٢٠١٩	جدول (١-٦)
١٤٣	..... الكهرباء الناتجة من الألواح الملونة وكفاءتها لدى المورد المحلى في إنتاج الطاقة الكهربائية	جدول (٢-٦)
١٤٦	..... كمية الكهرباء الناتجة من الأوضاع المختلفة للبدائل نتيجة ظل التراسات	جدول (٣-٦)
١٤٩	..... كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر بتغير التراسات نتيجة الظل في الواجهة الجنوبية	جدول (٤-٦)

قائمة الجداول

١٥٥	..... كمية الكهرباء الناتجة من الأشكال المعقدة	جدول (٥-٦)
١٥٩	..... كمية الكهرباء الناتجة من النموذج (٥) المتمثل في مدينة الفردوس	جدول (٦-٦)
١٦٩	..... كمية الكهرباء الناتجة من مشروع بيتشو أمريكيان سيتي للوضعين المختلفين	جدول (١-٧)
١٧٢	..... مقارنة لبنود أعمال النموذج التطبيقي (١) في ديسمبر ٢٠٢٣	جدول (١-٨)

قائمة الأشكال

١	طريقة مبسطة لكيفية التعامل مع الطاقة.....	شكل (١-١)
٢	تطور تعداد سكان العالم منذ عام ١٩٦٠ إلى ٢٠٢٢.....	شكل (٢-١)
٢	تطور تعداد سكان مصر منذ عام ١٩٥٠ إلى ٢١٠٠.....	شكل (٣-١)
٣	تطور سكان الحضر في العالم منذ عام ١٩٥٠ إلى ٢٠٢٠.....	شكل (٤-١)
٣	تطور متوسط استهلاك الطاقة الكهربائية للفرد في العالم منذ عام ١٩٧٠ إلى ٢٠٢٠.....	شكل (٥-١)
٤	تطور سعر برميل النفط بالدولار من عام ١٩٥٠ إلى ٢٠٢٢.....	شكل (٦-١)
٥	استخدامات الطاقة التقليدية منذ عام ١٩٩٠ حتى ٢٠١٩.....	شكل (٧-١)
٦	انبعاثات غاز CO2 في العالم من عام ١٩٩٠ حتى ٢٠١٩.....	شكل (٨-١)
٦	آثار ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي على العالم.....	شكل (٩-١)
٦	توزيع حرائق الغابات في أوروبا عام ٢٠٢١.....	شكل (١٠-١)
٧	أثر التغيرات المناخية على كوكب الأرض وغرق العديد من دول العالم.....	شكل (١١-١)
٧	جفاف الأنهار في أوروبا عام ٢٠٢٢.....	شكل (١٢-١)
٧	تداعيات الفيضانات الناتجة عن التغيرات المناخية.....	شكل (١٣-١)
٩	تأثير التغيرات المناخية على نواحي الحياة البيئية في العالم.....	شكل (١٤-١)
٩	آثار الانبعاثات المستقبلية لظاهرة الاحتباس الحراري والانبعاثات الكربونية.....	شكل (١٥-١)
١٢	استهلاك الكهرباء حسب القطاع لعام ٢٠٢٢.....	شكل (١٦-١)
١٣	التطبيقات المختلفة المستخدمة لعمليات المحاكاة.....	شكل (١٧-١)
١٣	الخريطة الخاصة بالدراسة التطبيقية.....	شكل (١٨-١)
٢٢	طبقات الشمس.....	شكل (١-٢)
٢٢	الإشعاع الكلي الواصل إلى الأرض.....	شكل (٢-٢)
٢٢	معدل الإشعاع الشمسي ك.و.س/م ^٢ على مستوى العالم.....	شكل (٣-٢)
٢٣	معدل الإشعاع الشمسي ك.و.س/م ^٢ في الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.....	شكل (٤-٢)
٢٣	معدل الإشعاع الشمسي ك.و.س/م ^٢ في مصر.....	شكل (٥-٢)
٢٣	مكونات الشعاع الشمسي.....	شكل (٦-٢)
٢٤	الطيف الشمسي والثلاث مناطق المختلفة للطيف.....	شكل (٧-٢)
٢٥	تصور لفكرة حرق السفن الرومانية من خلال تركيز أشعة الشمس.....	شكل (٨-٢)
٢٥	الفرن الشمسي للسويسري "هورش دي سويسر".....	شكل (٩-٢)
٢٦	تسخين المياه بالطاقة الشمسية.....	شكل (١٠-٢)
٢٦	مبنى بريدجر باكستون.....	شكل (١١-٢)
٢٧	أساليب تثبيت المجمعات الحرارية في المباني.....	شكل (١٢-٢)
٢٧	إعادة تعمير قرية ميت أبو الكوم المنوفية، عام ١٩٧٩.....	شكل (١٣-٢)

قائمة الأشكال

٢٨	..... محرك "أوجستين موشوت"	شكل (٢-١٤)
٢٨	..... مرجل "أوديلو" جنوب فرنسا	شكل (٢-١٥)
٢٨	..... محطة "كرامر" للطاقة الشمسية الحرارية	شكل (٢-١٦)
٢٩	..... محطة المعادي	شكل (٢-١٧)
٢٩	..... محطة الكريمات بالحيزة	شكل (٢-١٨)
٣٠	..... الخلايا الشمسية المصنوعة من رقائق السيليونيوم	شكل (٢-١٩)
٣١	..... التركيب الذري لذرة السيليكون	شكل (٢-٢٠)
٣١	..... التركيب البلوري للسيليكون	شكل (٢-٢١)
٣١	..... الخلية الشمسية وطبقات السيليكون P و N	شكل (٢-٢٢)
٣٢	..... مكونات النظام الشمسي	شكل (٢-٢٣)
٣٢	..... أول لوح كهروضوئي من السيليكون	شكل (٢-٢٤)
٣٣	..... فانار أوجامي باليابان	شكل (٢-٢٥)
٣٤	..... مبنى "تايمز سكوير ٤" بمدينة نيويورك	شكل (٢-٢٦)
٣٥	..... المحول الذي يقوم بتحويل التيار المستمر إلى تيار متردد	شكل (٢-٢٧)
٣٥	..... هيمنة الصين على الإنتاج الدولي للألواح الكهروضوئية	شكل (٢-٢٨)
٣٦	..... متوسط أسعار الخلية الكهروضوئية بالدولار الأمريكي منذ عام ١٩٧٧ وحتى عام ٢٠١٥	شكل (٢-٢٩)
٣٧	..... متوسط التكلفة المركبة للخلايا الكهروضوئية في العالم من عام ٢٠١٠ إلى عام ٢٠٣٠..	شكل (٢-٣٠)
٣٧	..... إنتاج الكهرباء عالمياً من خلال الطاقة الكهروضوئية منذ عام ١٩٨٣ وحتى عام ٢٠٢٢.	شكل (٢-٣١)
٣٧	..... معدل إنتاج الكهرباء عالمياً من الطاقة الكهروضوئية منذ عام ١٩٨٥ وحتى عام ٢٠٢٢.	شكل (٢-٣٢)
٣٨	..... التوقع لتكلفة إنتاج الكهرباء من المصادر المختلفة بإقليم الشرق الأوسط وشمال أفريقيا	شكل (٢-٣٣)
٣٩	..... محطة مصنع سيراميك أرت	شكل (٢-٣٤)
٣٩	..... محطة مصنع "فاركو" للأدوية	شكل (٢-٣٥)
٣٩	..... محطة مصنع الجوهرة للألومنيوم	شكل (٢-٣٦)
٤٠	..... توزيع مواقع مشروعات الطاقة المتجددة في مصر	شكل (٢-٣٧)
٤١	..... محطة الطاقة الكهروضوئية بنبان بالقرب من أسوان	شكل (٢-٣٨)
٤١	..... محطة الطاقة الكهروضوئية بكوم أمبو	شكل (٢-٣٩)
٤٢	..... إنتاج الكهرباء محلياً من الطاقة الكهروضوئية منذ عام ٢٠١٠ وحتى عام ٢٠٢٢....	شكل (٢-٤٠)
٤٢	..... معدل إنتاج الكهرباء محلياً من الطاقة الكهروضوئية منذ عام ٢٠١٠ وحتى عام ٢٠٢٢..	شكل (٢-٤١)
٤٢	..... مصادر إنتاج الكهرباء واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر في عام ٢٠٢٢.	شكل (٢-٤٢)
٤٢	..... مصادر إنتاج الكهرباء وتوقعات استخدام الطاقة الجديدة والمتجددة في مصر في عام ٢٠٣٥.	شكل (٢-٤٣)
٤٤	..... مكونات الخلية	شكل (٣-١)
٤٤	..... عينات للخلايا الكهروضوئية المتوفرة في السوق المحلي	شكل (٣-٢)

قائمة الأشكال

٤٥	..... أنواع الخلايا الكهروضوئية المستخدم بها مادة السيليكون	شكل (٣-٣)
٤٥	..... شكل خلية سيليكون أحادي البلورة	شكل (٤-٣)
٤٥	..... شكل خلية السيليكون متعددة البلورة	شكل (٥-٣)
٤٦	..... خلية سيليكون غير متبلور	شكل (٦-٣)
٤٦	ألواح خلايا ملونة من السيليكون غير المتبلور في الزجاج، محطة شحن سيارات بزيورخ	شكل (٧-٣)
٤٦	ألواح خلايا ملونة من السيليكون غير المتبلور، الجناح النمساوي بمعرض أكسبو إيطاليا	شكل (٨-٣)
٤٧	..... خلايا تيلورايد الكاديوم للتظليل وإنتاج الطاقة	شكل (٩-٣)
٤٧	..... النمو العالمي لخلايا السيليكون غير المتبلور Thin Film Cells	شكل (١٠-٣)
٤٨	..... خلية كهروضوئية من انديوم النحاس وسيلينييد الجاليوم (CIGS) بنسبة شفافية ٤٠٪ ..	شكل (١١-٣)
٤٩	..... الأشكال المختلفة للخلايا الكهروضوئية	شكل (١٢-٣)
٥٠	..... الألوان المتاحة للخلايا الشمسية أحادية البلورية	شكل (١٣-٣)
٥٠	..... الخلايا الكهروضوئية المربعة متعددة البلورات في لونها الأصلي الرمادي المزرق.....	شكل (١٤-٣)
٥٠	..... الخلايا الكهروضوئية متعددة البلورات بسماكة معدلة	شكل (١٥-٣)
٥٠	..... دمج الخلايا الكهروضوئية مع الزجاج	شكل (١٦-٣)
٥١	..... الخلية الكهروضوئية التي تصل درجة شفافيتها إلى ٧٩٪	شكل (١٧-٣)
٥١	..... مكونات اللوح	شكل (١٨-٣)
٥٢	..... الشكل العام للألواح الكهروضوئية	شكل (١٩-٣)
٥٢	..... نظام كهروضوئي غير متصل بالشبكة OFF Grid Solar System	شكل (٢٠-٣)
٥٣	..... نظام كهروضوئي متصل بالشبكة ON Grid Solar System	شكل (٢١-٣)
٥٤	..... طريقة تثبيت نظام BAPV	شكل (٢٢-٣)
٥٤	..... مجمع الندى السكنى بمدينة الشيخ زايد	شكل (٢٣-٣)
٥٥	..... مبنى نقابة المهندسين بمدينة الخارجة	شكل (٢٤-٣)
٥٥	..... منزل بيت يكن بالدرب الأحمر، القاهرة	شكل (٢٥-٣)
٥٥	..... مبنى بنك قطر الوطني الأهلي بمدينة السادس من أكتوبر	شكل (٢٦-٣)
٥٥	..... المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء بالدقي، الجيزة	شكل (٢٧-٣)
٥٦	..... المدرسة البريطانية بالشيخ زايد	شكل (٢٨-٣)
٥٦	..... مبنى فندق "جي دبليو ماريوت" بالتجمع الأول	شكل (٢٩-٣)
٥٦	..... مبنى كارفور فرع مدينتي	شكل (٣٠-٣)
٥٦	..... مجمع بالم هيلز السكنى بمدينة السادس من أكتوبر	شكل (٣١-٣)
٥٧	..... أكاديمية الحياة الدولية بالتجمع الخامس	شكل (٣٢-٣)
٥٨	..... مبنى "سولار ١" ١٩٣٩	شكل (٣٣-٣)
٥٨	..... مبنى "سولار ٢" ١٩٤٨	شكل (٣٤-٣)

قائمة الأشكال

٥٨	..... مبنى دوفر صن هاوس عام ١٩٤٨	شكل (٣-٣٥)
٥٩	..... مبنى "سولار ٣" ١٩٤٩	شكل (٣-٣٦)
٥٩	..... مبنى "سولار ٥" ١٩٧٨	شكل (٣-٣٧)
٥٩	..... الواجهة الجنوبية لمجمع ريختر السكنى	شكل (٣-٣٨)
٥٩	..... قطاع في مجمع ريختر السكنى	شكل (٣-٣٩)
٦٠	..... مبنى "بومبيو فايبرا" مبنى المكتبة العامة في مدينة برشلونة	شكل (٣-٤٠)
٦٠	..... مبنى مكتب السياحة من بقايا مبنى الكنيسة التاريخى في مدينة "اليس" بفرنسا	شكل (٣-٤١)
٦١	..... مبنى "بيد زيد" بالمملكة المتحدة عام ٢٠٠٢	شكل (٣-٤٢)
٦٢	..... مبنى "بيجار" بمدينة "سلامانكا" بإسبانيا	شكل (٣-٤٣)
٦٢	..... مبنى "أوميكرون" بمدينة "كلاوس" في النمسا	شكل (٣-٤٤)
٦٢	..... مبنى "سولاريس" بمدينة زيورخ في سويسرا	شكل (٣-٤٥)
٦٢	..... مبنى سكنى بمدينة زيورخ في سويسرا	شكل (٣-٤٦)
٦٣	..... مواضع تثبيت ألواح BIPV في المبنى	شكل (٣-٤٧)
٦٤	..... تركيب ألواح BIPV بشكل أفقي على سطح مبنى سكنى بزيورخ	شكل (٣-٤٨)
٦٤	..... تركيب ألواح BIPV بشكل مائل على الأسطح	شكل (٣-٤٩)
٦٤	..... تركيب ألواح BIPV نصف الشفافة في سطح سن المنشار	شكل (٣-٥٠)
٦٥	..... تركيب ألواح BIPV نصف الشفافة في الفتحات العلوية للسطح	شكل (٣-٥١)
٦٦	..... مبنى Hanergy Office، جوانجدونج، الصين، تركيب ألواح BIPV في الجدران التقليدية	شكل (٣-٥٢)
٦٦	..... مشروع مؤسسة "أبي بيير" في باريس، تركيب ألواح BIPV في الجدران التقليدية....	شكل (٣-٥٣)
٦٦	..... مبنى مركز الأبحاث للطاقة الشمسية بألمانيا، تركيب ألواح BIPV في الجدران التقليدية.	شكل (٣-٥٤)
٦٧	..... الطرق المختلفة لأماكن وضع الألواح الكهروضوئية في الواجهات	شكل (٣-٥٥)
٦٧	..... الطرق المختلفة لأماكن وضع الألواح الكهروضوئية في الواجهات بشكل مائل	شكل (٣-٥٦)
٦٧	..... مبنى شركة "هانرجى" بكين، الصين، تركيب ألواح BIPV بطريقة منحنية على الواجهة.	شكل (٣-٥٧)
٦٨	..... مشروع "تيرينا بالبحر المتوسط" إيطاليا، تركيب ألواح BIPV في الزجاج والفتحات	شكل (٣-٥٨)
٦٨	..... مشروع "جراج لينشوبينج" "بسولتيك" في الدنمارك، تركيب ألواح BIPV في الزجاج والفتحات	شكل (٣-٥٩)
٦٩	..... تركيب ألواح BIPV في المظلات الخارجية	شكل (٣-٦٠)
٦٩	..... تركيب ألواح BIPV في درابزين الشرفات	شكل (٣-٦١)
٦٩	..... تركيب ألواح BIPV في الكاسرات الشمسية الأفقية	شكل (٣-٦٢)
٧٠	..... تركيب ألواح BIPV في الكاسرات الشمسية الرأسية	شكل (٣-٦٣)
٧٠	..... مبنى "كينجز جيت" Kingsgate House، ٢٠١٤، لندن	شكل (٣-٦٤)
٧١	..... شكل وأبعاد لوح BIPV (٦٠٠×٢٠٠مم) من الأمام والخلف	شكل (٣-٦٥)
٧١	..... سماكة قطاعات الألومنيوم المستخدمة لتثبيت النظام	شكل (٣-٦٦)

قائمة الأشكال

٧٢	طريقة تثبيت المرحلة الأولى الدعائم الرأسية على جدار الواجهة	شكل (٦٧-٣)
٧٢	طريقة تثبيت المرحلة الثانية العوارض الأفقية على جدار الواجهة	شكل (٦٨-٣)
٧٢	طريقة تثبيت المرحلة الثالثة الألواح الكهروضوئية على العوارض الأفقية بجدار الواجهة...	شكل (٦٩-٣)
٧٢	تفاصيل تثبيت نظام BIPV على جدار الواجهة	شكل (٧٠-٣)
٧٣	مبنى "ميدلاند كورت" بمدينة ميدلاند بكندا	شكل (٧١-٣)
٧٣	معدل الإشعاع الشمسي ك.و.س/م ^٢ في مصر	شكل (٧٢-٣)
٧٤	تأثير زيادة درجة الحرارة على كفاءة النظام	شكل (٧٣-٣)
٧٤	تفصيله للفراغ بين ألواح BIPV وجدار الواجهة	شكل (٧٤-٣)
٧٤	اختبارات سقوط المياه على ألواح BIPV لقياس كفاءتها لعدم التسريب	شكل (٧٥-٣)
٧٥	نظافة الخلية الكهروضوئية لعمل الصيانة الدورية	شكل (٧٦-٣)
٧٥	نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام أجهزة يدوياً لتنظيف الواجهات	شكل (٧٧-٣)
٧٥	نظافة الخلية الكهروضوئية بشكل نصف آلي	شكل (٧٨-٣)
٧٦	نظافة الخلية الكهروضوئية آلياً	شكل (٧٩-٣)
٧٦	نظافة الخلية الكهروضوئية آلياً بواسطة جهاز التنظيف الذي يعمل بالطاقة الكهروضوئية	شكل (٨٠-٣)
٧٦	نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام تقنية نوماد من خلال ضغط الهواء	شكل (٨١-٣)
٧٧	نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام أجهزة التنظيف المحمولة	شكل (٨٢-٣)
٧٧	نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام أجهزة تنظيف آلية للواجهات	شكل (٨٣-٣)
٧٨	تأثير الظل على خصائص الخلية (التيار والجهد)	شكل (٨٤-٣)
٧٩	الواجهة الجنوبية لمبنى مكاتب "إينزون" بشمال إيطاليا	شكل (٨٥-٣)
٧٩	الواجهة الجنوبية الغربية لمبنى مكاتب "سولس مارجدين" بمدينة درامين النرويج	شكل (٨٦-٣)
٧٩	مبنى مدرسة كوينهاجن بالدنمارك	شكل (٨٧-٣)
٨٠	مبنى سكني "سولاريلو" بمدينة زيورخ في سويسرا	شكل (٨٨-٣)
٨٠	مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا	شكل (٨٩-٣)
٨١	مبنى سكني اجتماعي بمدينة "بيست" بهولندا	شكل (٩٠-٣)
٨١	مبنى سكني بمدينة زيورخ في سويسرا	شكل (٩١-٣)
٨١	المبنى قبل التجديد- إعادة تجديد مبنى سكني "شنيترهاوس" بقرية "نيسلين" شرق ألمانيا	شكل (٩٢-٣)
٨٢	المبنى بعد التجديد	شكل (٩٣-٣)
٨٢	بعض تفاصيل تركيب الألواح على النوافذ وكيفية الفتح والغلق لها لتوليد الطاقة والتهوية ..	شكل (٩٤-٣)
٨٢	المبنى قبل التجديد إعادة تجديد مبنى مكاتب "سيمات" بمدريد إسبانيا	شكل (٩٥-٣)
٨٣	المبنى بعد التجديد إعادة تجديد مبنى مكاتب "سيمات" بمدريد إسبانيا	شكل (٩٦-٣)
٨٣	المبنى قبل التجديد، مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا	شكل (٩٧-٣)
٨٣	المبنى بعد التجديد، مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا	شكل (٩٨-٣)

قائمة الأشكال

٨٤	..... المبنى قبل التجديد، مبنى مكاتب بمدينة بيرن بسويسرا	شكل (٣-٩٩)
٨٤	..... المبنى بعد التجديد، مبنى مكاتب بمدينة بيرن بسويسرا	شكل (٣-١٠٠)
٨٤	..... المبنى قبل التجديد، مبنى سكني جامعي بمدينة "سلاجيلس" بالدنمارك	شكل (٣-١٠١)
٨٥	..... المبنى بعد التجديد، مبنى سكني جامعي بمدينة "سلاجيلس" بالدنمارك	شكل (٣-١٠٢)
٨٥	..... مبنى بنك CIB بالقرية الذكية بمدينة السادس من أكتوبر	شكل (٣-١٠٣)
٨٩	..... الرسومات التنفيذية لنموذج الاختبار	شكل (٤-١)
٨٩	..... مبنى التجربة العملية	شكل (٤-٢)
٩٠	شكل ألواح الطاقة الكهروضوئية المستخدمة في التجربة - بكلية الزراعة - جامعة المنوفية	شكل (٤-٣)
٩٠	..... المحول "ماست" المستخدم في التجربة	شكل (٤-٤)
٩٠	..... البطارية "نارادا" المستخدمة في التجربة	شكل (٤-٥)
٩٠	..... جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي المستخدم في التجربة	شكل (٤-٦)
٩١	..... جهاز قياس درجة الحرارة المستخدم في التجربة	شكل (٤-٧)
٩١	..... جهاز قياس فرق الجهد والتيار (Multi meter) المستخدم في التجربة	شكل (٤-٨)
٩٢	..... الأوضاع المختلفة للألواح الكهروضوئية للمبنى - بكلية الزراعة - جامعة المنوفية	شكل (٤-٩)
٩٢	..... الأوضاع المختلفة للألواح أثناء القياس للمبنى - بكلية الزراعة - جامعة المنوفية	شكل (٤-١٠)
٩٣	..... إنتاج الكهرباء لألواح السطح المائلة	شكل (٤-١١)
٩٣	..... إنتاج الكهرباء لألواح السطح الأفقية	شكل (٤-١٢)
٩٥	..... زاوية ارتفاع الشمس في الصيف والشتاء	شكل (٤-١٣)
٩٦	..... إنتاج الكهرباء للواجهة الجنوبية	شكل (٤-١٤)
٩٦	..... إنتاج الكهرباء للواجهة الغربية	شكل (٤-١٥)
٩٦	..... إنتاج الكهرباء للواجهة الشرقية	شكل (٤-١٦)
٩٦	..... إنتاج الكهرباء للواجهة الشمالية	شكل (٤-١٧)
٩٧	..... كمية الكهرباء الناتجة للأوضاع الستة للألواح	شكل (٤-١٨)
٩٧	..... أفضل الأوضاع لإنتاج الكهرباء بالترتيب للأوضاع الستة للألواح	شكل (٤-١٩)
٩٧	..... النسبة المئوية للإجمالي الكهرباء المنتجة من النظام	شكل (٤-٢٠)
١٠٢	..... المسقط الأفقي للسطح بنظام BAPV وتأثير الظلال في فصل الصيف والشتاء	شكل (٥-١)
١٠٣	..... محاولات اقتراح ارتفاع دروة السطح	شكل (٥-٢)
١٠٤	..... الكهرباء الناتجة من الأوضاع المختلفة لارتفاع دروة السطح	شكل (٥-٣)
١٠٤	..... لقطة للنموذج الأولى وتثبيت الألواح بنظامي BIPV و BAPV لارتفاع الدور ٣ و٤م	شكل (٥-٤)
١٠٥	..... شاشة تطبيق Sketch Up Pro لتحليل مواضع الألواح والطاقة المنتجة	شكل (٥-٥)
١٠٥	..... شاشة تطبيق PVGIS Version 5.2 لحساب الطاقة الكهربائية المولدة من الألواح	شكل (٥-٦)
١٠٥	..... شاشة تطبيق PV System لتقدير حسابات الطاقة الكهربائية لنموذج المحاكاة	شكل (٥-٧)

قائمة الأشكال

١٠٥	..... كمية الكهرباء الناتجة من كل واجهة بالنسبة إلى زيادة الارتفاع من ٣ إلى ٤ م	شكل (٨-٥)
١٠٧	..... المسقط الأفقي المتكرر للعمارة السكنية قبل التعديل	شكل (٩-٥)
١٠٨	..... الرسومات المعمارية للنموذج التطبيقي بعد التعديل	شكل (١٠-٥)
١٠٩	..... تكلفة تركيب النظام والنموذج التطبيقي	شكل (١١-٥)
١١٠	..... كمية الكهرباء الناتجة من النموذج التطبيقي	شكل (١٢-٥)
١١١	..... تكلفة تركيب النظام للنموذج التطبيقي وتكلفة النموذج بدون النظام والتكلفة الإجمالية.	شكل (١٣-٥)
١١١	..... تكلفة المتر السكني قبل وبعد تركيب النظام للنموذج التطبيقي	شكل (١٤-٥)
١١١	..... تكلفة المتر السكني من النظام وقيمة الكهرباء من المتر السكني للنموذج التطبيقي ...	شكل (١٥-٥)
١١٤	..... مسقط أفقي للألواح بنظام BAPV على السطح في النموذج الأولي حتى ارتفاع ٢٠ دور	شكل (١٦-٥)
١١٤	..... لقطة للألواح بنظام BIPV على الواجهات في النموذج الأولي حتى ارتفاع ٢٠ دور	شكل (١٧-٥)
١١٤	..... واجهة للألواح بنظام BIPV على الواجهات في النموذج الأولي حتى ارتفاع ٢٠ دور	شكل (١٨-٥)
١١٥	..... كمية الكهرباء الناتجة من النظام للسطح والواجهات للنموذج الأولي حتى ٢٠ دور ...	شكل (١٩-٥)
١١٦	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من النموذج التطبيقي (١) لارتفاع الدور ٣ م	شكل (٢٠-٥)
١١٦	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من النموذج التطبيقي (١) لارتفاع الدور ٤ م	شكل (٢١-٥)
١١٨	..... أشكال توضح عدد الوحدات في الدور السكني من وحدة إلى ١٠ وحدات سكنية بالدور	شكل (٢٢-٥)
١١٨	..... كمية الكهرباء الناتجة لكل وحدة بالنسبة إلى عدد الوحدات في الدور	شكل (٢٣-٥)
١١٩	..... كمية الكهرباء الناتجة من النموذج التطبيقي (١) باختلاف محوره	شكل (٢٤-٥)
١٢١	..... نموذج عمارة سكنية لمشروع دار مصر قبل التعديل	شكل (٢٥-٥)
١٢٢	..... زيارة مشروع دار مصر بمدينة ٦ أكتوبر	شكل (٢٦-٥)
١٢٣	..... نموذج عمارة سكنية لمشروع دار مصر بعد التعديل	شكل (٢٧-٥)
١٢٤	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من نموذج دار مصر محور شرق غرب	شكل (٢٨-٥)
١٢٤	..... كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء محور شرق غرب	شكل (٢٩-٥)
١٢٥	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من نموذج دار مصر محور شمال جنوب	شكل (٣٠-٥)
١٢٥	..... كمية الكهرباء الناتجة لنموذج دار مصر بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء محور شمال جنوب	شكل (٣١-٥)
١٢٦	..... كمية الكهرباء الناتجة من وضعين نموذج دار مصر بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء ...	شكل (٣٢-٥)
١٢٧	..... المسقط الأفقي للنموذج التطبيقي (٣) ٦ وحدات في الدور قبل التعديل	شكل (٣٣-٥)
١٢٨	..... النموذج التطبيقي رقم (٣) ٦ وحدات في الدور بعد التعديل	شكل (٣٤-٥)
١٢٩	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من النموذج التطبيقي رقم (٣) محور شرق غرب	شكل (٣٥-٥)
١٢٩	..... كمية الكهرباء للنموذج التطبيقي (٣) بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء للنموذج محور شرق غرب	شكل (٣٦-٥)
١٣٠	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من النموذج التطبيقي رقم (٣) محور شمال جنوب ..	شكل (٣٧-٥)
١٣٠	..... كمية الكهرباء للنموذج التطبيقي (٣) بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء محور شمال جنوب	شكل (٣٨-٥)
١٣١	..... كمية الكهرباء لوضعين النموذج التطبيقي (٣) لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء	شكل (٣٩-٥)

قائمة الأشكال

١٣٢	..... صور ورسومات عمارة المهندسين ٨ وحدات في الدور	شكل (٤٠-٥)
١٣٣	..... النموذج التطبيقي رقم (٤) ٨ وحدات في الدور	شكل (٤١-٥)
١٣٣	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من النموذج التطبيقي رقم (٤) محور شرق غرب ...	شكل (٤٢-٥)
١٣٤	..... كمية الكهرباء للنموذج التطبيقي (٤) بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء للنموذج محور شرق غرب	شكل (٤٣-٥)
١٣٤	..... كمية الكهرباء التفصيلية الناتجة من النموذج التطبيقي رقم (٤) محور شمال جنوب ..	شكل (٤٤-٥)
١٣٥	..... كمية الكهرباء للنموذج التطبيقي (٤) بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء محور شمال جنوب	شكل (٤٥-٥)
١٣٦	..... كمية الكهرباء الناتجة لوضعين النموذج التطبيقي (٤) بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء ..	شكل (٤٦-٥)
١٣٦	..... نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء لجميع النماذج	شكل (٤٧-٥)
١٣٧	..... نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء لعدد الوحدات في الدور	شكل (٤٨-٥)
١٣٧	..... إجمالي الكهرباء الناتجة لعدد الوحدات في الدور لكل محور	شكل (٤٩-٥)
١٣٨	..... الرسومات المعمارية لفرغ سكني لتوضيح أقصى مسطح لفتحة الشباك	شكل (٥٠-٥)
١٣٨	..... نماذج مختلفة من مسطح فتحات النوافذ لنموذج المحاكاة	شكل (٥١-٥)
١٣٩	..... كمية الكهرباء الناتجة بالنسبة إلى مسطح الفتحات من النموذج الأولي لارتفاع الدور ٣م	شكل (٥٢-٥)
١٣٩	..... كمية الكهرباء بالنسبة إلى مسطح مساحة الفتحات من النموذج الأولي لارتفاع الدور ٤م	شكل (٥٣-٥)
١٤١	..... العلاقة بين كفاءة اللون والطول الموجي ونلاحظ بأن اللون الأزرق لديه أعلى كفاءة ..	شكل (١-٦)
١٤٢	..... الألوان المختلفة للخلايا الكهروضوئية	شكل (٢-٦)
١٤٣	..... العينات المختلفة للألوان للخلايا الكهروضوئية	شكل (٣-٦)
١٤٤	..... مشروع مؤسسة "أبي بيير" في باريس	شكل (٤-٦)
١٤٥	..... أثر الظلال على الألواح للبديل الافتراضي الأول	شكل (٥-٦)
١٤٥	..... أثر الظلال على الألواح للبديل الافتراضي الثاني	شكل (٦-٦)
١٤٦	..... أثر الظلال على الألواح للبديل الافتراضي الثالث	شكل (٧-٦)
١٤٧	..... الكهرباء الناتجة من الأوضاع المختلفة من التراسات نتيجة الظلال على الألواح	شكل (٨-٦)
١٤٧	..... تأثير الظلال على الألواح في البدائل المختلفة للمبنى	شكل (٩-٦)
١٤٨	..... أثر ظل التراسات الغاطسة في الواجهة الجنوبية على الألواح لنموذج دار مصر	شكل (١٠-٦)
١٤٨	..... أثر ظل التراسات البارزة في الواجهة الجنوبية على الألواح لنموذج دار مصر	شكل (١١-٦)
١٤٩	..... الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر بتغيير التراسات نتيجة الظلال في الواجهة الجنوبية	شكل (١٢-٦)
١٥٢	..... شكل Well Shape	شكل (١٣-٦)
١٥٣	..... شكل Cross Shape	شكل (١٤-٦)
١٥٤	..... شكل Y-Shape	شكل (١٥-٦)
١٥٥	..... الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية للأشكال المعقدة المختلفة	شكل (١٦-٦)
١٥٥	..... الكهرباء الناتجة من إجمالي المبنى للأشكال المعقدة المختلفة	شكل (١٧-٦)
١٥٦	..... الشكل المستطيل	شكل (١٨-٦)

قائمة الأشكال

١٥٧	..... شكل U-Shape	شكل (٦-١٩)
١٥٨	..... مدينة الفردوس بمدينة ٦ أكتوبر	شكل (٦-٢٠)
١٥٩	..... رسومات النموذج بعد التعديل	شكل (٦-٢١)
١٥٩	..... كمية الكهرباء الناتجة من وضعين النموذج التطبيقي (٥) بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء	شكل (٦-٢٢)
١٦٢	..... تحليل ظل المبنى على الأرض في شهر يناير الممثل لفصل الشتاء لمحور شرق غرب	شكل (٧-١)
١٦٢	..... تحليل ظل المبنى على الأرض في شهر يوليو الممثل لفصل الصيف لمحور شرق غرب	شكل (٧-٢)
١٦٢	..... تحليل ظل المبنى على الأرض للمبنى في فصل الصيف والشتاء لمحور شرق غرب	شكل (٧-٣)
١٦٢	..... تحليل ظل المبنى على الأرض في شهر يناير الممثل لفصل الشتاء محور شمال جنوب	شكل (٧-٤)
١٦٣	..... تحليل ظل المبنى على الأرض في شهر يوليو الممثل لفصل الصيف محور شمال جنوب	شكل (٧-٥)
١٦٣	..... تحليل ظل المبنى على الأرض للمبنى في فصل الصيف والشتاء لمحور شمال جنوب ..	شكل (٧-٦)
١٦٣	..... ظل المبنى على الأرض في جهتي الشرق والغرب	شكل (٧-٧)
١٦٤	..... ظل المبنى على الأرض في جهة الشمال	شكل (٧-٨)
١٦٥	..... الأسلوب الأول لتجميع الكتل وأثر الظلال على النظام	شكل (٧-٩)
١٦٦	..... الأسلوب الثاني لتجميع الكتل وأثر الظلال على النظام	شكل (٧-١٠)
١٦٧	..... مشروع بيتشو أمريكيان سيتي، زهراء المعادي	شكل (٧-١١)
١٦٨	..... عملية المحاكاة للمشروع في الوضع الراهن	شكل (٧-١٢)
١٦٨	..... عملية المحاكاة للمشروع بعد التعديل	شكل (٧-١٣)
١٦٩	..... الكهرباء الناتجة لنموذج بيتشو أمريكيان سيتي للوضعين المختلفين نتيجة المسافة بين المباني	شكل (٧-١٤)
١٧٠	..... الوضع الراهن لمشروع مدينة الفردوس بمدينة ٦ أكتوبر	شكل (٧-١٥)
١٧٠	..... الوضع بعد التعديل لمشروع مدينة الفردوس بمدينة ٦ أكتوبر	شكل (٧-١٦)
١٧١	..... المسقط الأفقي المتكرر للنموذج التطبيقي (١)	شكل (٨-١)
١٧٨	..... تطور سعر المتر المربع من ألواح BIPV منذ عام ٢٠١٥ حتى عام ٢٠٣٠	شكل (٨-٢)

قائمة الاختصارات

W=V X A هي وحدة الطاقة وتقاس بالوات وهي تكون حاصل ضرب الفولت x الامبير	الوات Watts
ك.و.س	كيلو وات ساعة
ميجا.و.س	ميجا وات ساعة
ألواح الطاقة الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى	BIPV
ألواح الطاقة الكهروضوئية	PV
ألواح الطاقة الكهروضوئية المثبتة على سطح المبنى	BAPV

الفصل الأول

طبيعة المشكلة البحثية

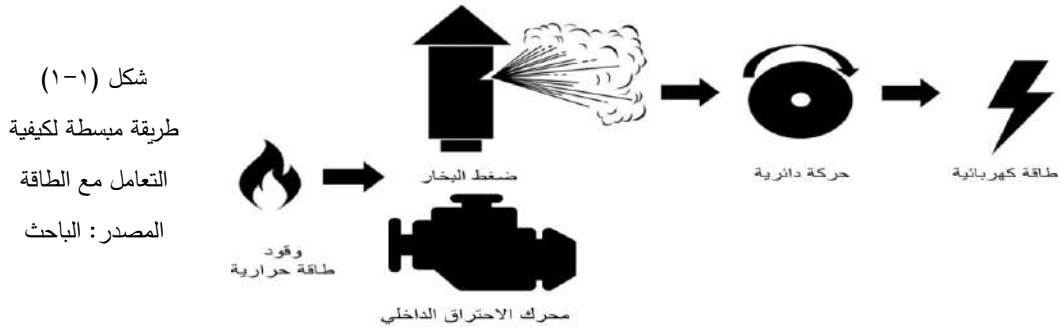
تمثل الطاقة عصب الحياة لأي مجتمع، وتعد أحد أهم الإشكاليات المعاصرة لارتباطها بخطط التنمية الاقتصادية لأي دولة، لذلك كانت مصادر الطاقة سبباً رئيسياً للعديد من الصراعات الدولية بدءاً من الحرب العالمية الأولى وحتى الآن، حيث تزامن التقدم التكنولوجي مع تزايد احتياجات الإنسان للطاقة، ومن ثم زاد طلبه على مصادرها، وخاصة مشتقات البترول. ويناقش هذا الفصل استهلاك الطاقة، وأزمات الطاقة والتحديات التي تواجهها من صراعات دولية وتغيرات مناخية، مع التعرض لمشكلة البحث وأهميتها، ومنهجية البحث المتبعة ثم الدراسات السابقة.

١-١ مقدمة المشكلة البحثية

تمثل مقدمة المشكلة البحثية أهم العناصر المتعلقة بها من خلال ما يلي: -

١-١-١ مفهوم الطاقة

في إطار تعريف الطاقة يجب في البداية تعريف القدرة (Power) التي تعرف على أنها معدل بذل الشغل، وتساوي كمية الطاقة المستهلكة خلال وحدة الزمن، وتقاس بوحدة الواط^(١). أما الطاقة فتعرف على أنها القدرة على القيام بالشغل، وتتخذ عدة أشكال سواء كانت حركية أو حرارية، ويمكن تغير شكلها من هيئة لأخرى^(٢). وقد تطورت مصادر الطاقة مع الزمن بداية من كونها طاقة حركية، تعتمد على قدرة الإنسان أو الحيوان العضلية، أو حركة الرياح التي استخدمت في تحريك السفن الشراعية وتشغيل بعض الطواحين، كما اعتمدت على مساقط وشلالات المياه لتحريك بعض الآلات البدائية. ثم استخدم الإنسان الطاقة الحرارية المستمدة من حرق الفحم لتحويل ضغط البخار إلى طاقة حركية، من خلال اختراع المرجل البخاري، واستغل الطاقة الحركية الدائرية لتوليد الكهرباء من خلال المولدات الكهربائية، وفي بداية القرن العشرين استخدم الإنسان النفط كبديل للفحم، وتم اختراع محرك الاحتراق الداخلي، وفي منتصف القرن العشرين استخدم الإنسان الطاقة النووية لتوليد الحرارة اللازمة لتوليد ضغط البخار، ويوضح الشكل (١-١) تحويل الطاقة الحرارية إلى طاقة حركية، ومن ثم توليد الكهرباء.



(1) – The Editors of Encyclopedia Britannica. Power PHYSICS.

<https://web.archive.org/web/20190705051216/https://www.britannica.com/science/power-physics>. at 19-1-2023, at 11:30 Am.

(2) – Merriam Webster Dictionary, Energy.

<https://www.merriam-webster.com/dictionary/energy>. at 19-1-2023, at 11:20 Am./

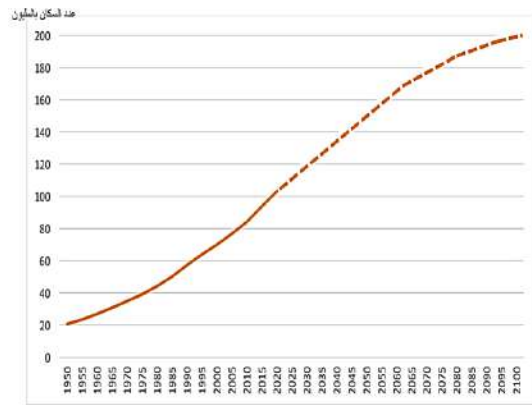
– Independent Statistics and Analysis, U.S. Energy Information Administration, (eia).

<https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/>. at 19-1-2023, at 11:25 Am.

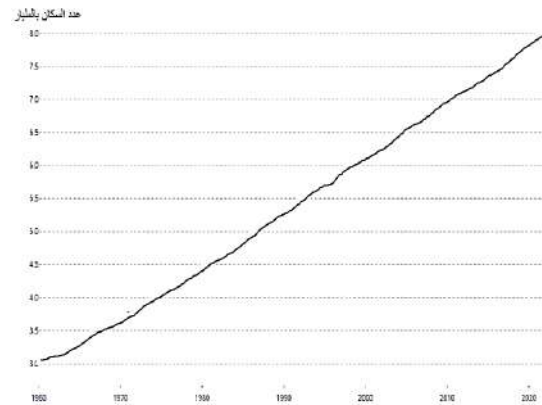
٢-١-١ استهلاك الطاقة

نظراً للزيادة المتواترة في أعداد سكان العالم، واستخدام التكنولوجيا الحديثة في جميع الأنشطة الحياتية، زاد استهلاك الطاقة بشكل واضح على مستوى العالم خلال العقد الأول من الألفية الثالثة بما يقارب ٥٠٪، حتى بلغ معدل النمو السنوي للاستهلاك العالمي للطاقة نحو ٥,٨٪ خلال عام ٢٠٢١، وقد نشأت هذه الزيادة للعاملين التاليين: -

- ارتفاع معدل النمو السكاني: أرتفع عدد سكان العالم بأكثر من ثلاثة أضعاف مقارنة بما كان عليه في منتصف القرن العشرين، حيث بلغ عدد سكان العالم ثمانية مليارات نسمة في عام ٢٠٢٢، في حين كان يقدر بنحو ٢,٥ مليار نسمة في عام ١٩٥٠، ومن المتوقع أن يصل إلى عشرة مليارات نسمة بحلول عام ٢٠٥٠، كما يتضح بالشكل (٢-١) وفقاً لبيانات البنك الدولي. ويتوقع أن تشهد دول الشرق الأوسط وحدها نمو سكاني يبلغ ٩٧ مليون نسمة بحلول ٢٠٣٠، مما سيترتب عليه ضرورة إضافة ٢٤ مليون وحدة سكنية جديدة^(١)، مما سيؤدي إلى زيادة الطلب على الطاقة. ومن جهة أخرى تعد مصر من أكثر دول شمال إفريقيا اكتظاظاً بالسكان، حيث بلغ تعداد السكان في مصر عام ٢٠٢٢ نحو ١٠٤ مليون نسمة، ومن المتوقع أن يبلغ في عام ٢٠٥٠ ما يقارب ١٦٠ مليون نسمة، وفي عام ٢١٠٠ سيبلغ نحو ٢٠٠ مليون نسمة^(٢)، كما يتضح بالشكل (٣-١)، مما أدى إلى تزايد الطلب والاحتياج للطاقة واضعاً ضغطاً كبيراً على موارد الطاقة المحلية.



شكل (٣-١) تطور تعداد سكان مصر منذ عام ١٩٥٠ إلى ٢١٠٠



شكل (٢-١) تطور تعداد سكان العالم منذ عام ١٩٦٠ إلى ٢٠٢٢ المصدر: بيانات البنك الدولي ٢٠٢٢

- ارتفاع مستوى التحضر: حدثت زيادة واضحة في استهلاك العالم للطاقة بسبب ارتفاع مستوى التحضر، حيث بلغت نسبة التحضر في العالم وفقاً لبيانات البنك الدولي لعام ٢٠٢١ نحو ٥٦٪ من جملة سكان العالم، كما يتضح بالشكل (٤-١). فضلاً عن تحسن مستوى المعيشة، والاعتماد على الأجهزة الكهربائية والتطبيقات الإلكترونية في كافة مناحي الحياة، حيث تستخدم أكثر الأسر الأجهزة الكهربائية كالثلاجات والغسالات ومكيفات الهواء، وتلك الأخيرة هي السبب الرئيسي وراء الزيادة السريعة للطلب على الكهرباء في الأقاليم الحارة. ولم يقتصر الأمر على المدن فقط، بل امتد تحسن مستوى المعيشة إلى الريف أيضاً، مما أدى إلى ارتفاع نصيب الفرد من استخدام الكهرباء وفقاً لبيانات البنك الدولي، حيث كان متوسط نصيب

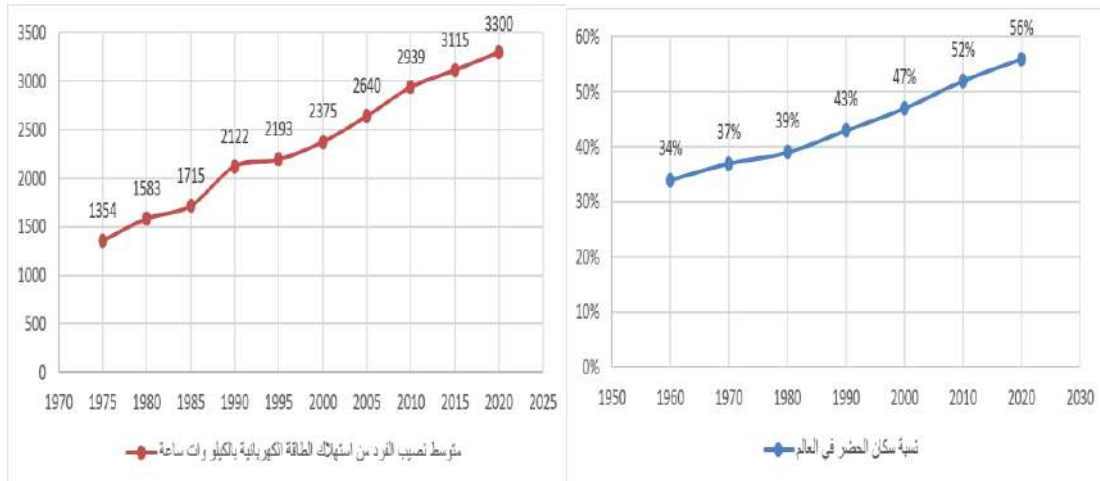
(1)- EE Building code study, Rafik Missaoui-Alcor, MED-ENEC 2012.

http://www.med-enec.eu/sites/default/files/user EEBC%20STUDY_Draft%20October%202012.pdf. at 16-3-2023.

(٢) - الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء. ٢٠٢٢.

https://www.capmas.gov.eg/. at 12-4-2023, at 4:00 pm.

الفرد من استهلاك الكهرباء ١٣٥٤ ك.و.س في عام ١٩٧٥، وبلغ ٣٣٠٠ ك.و.س في عام ٢٠٢٠ (١) كما يتضح بالشكل (١-٥)، وبالتالي تزايدت معدلات استهلاك الطاقة خلال العقد الماضي في العالم بنسبة ٤٩٪ بمتوسط زيادة سنوية قدرها ٢٪ وفقاً لبيانات وكالة الطاقة الدولية (٢)، وتشير التوقعات أن هذا المعدل سيستمر في النمو بمتوسط سنوي يبلغ ٣,٢٪. وللدلالة على ذلك أعلنت وزارة الكهرباء المصرية أنه في صيف ٢٠١٠ زادت أجهزة التكييف لتصل إلى ثلاثة ملايين جهاز في مصر، يعمل معظمها من الصباح الباكر حتى الساعة ٢ صباحاً من اليوم التالي، مما أدى إلى زيادة استهلاك الكهرباء، ونتيجة لذلك ارتفع معدل استهلاك الكهرباء في مصر بنسبة ١٣٪ عن عام ٢٠٠٩، مما يستدعي ضرورة توليد ٣٠٠٠ ميغاوات في ساعات الذروة، بتكلفة قدرها ١٦ مليار جنيه مصري (٣). ويتوزع استهلاك الكهرباء في مصر حالياً كما يلي: - في المباني السكنية ٤٠٪ والمنشآت الصناعية ٢٧٪ والمباني التجارية والحكومية ١٩٪ وقطاع النقل وأخرى ١٤٪، حيث بلغت نسبة استهلاك المباني ٨٦٪ من إجمالي الطلب على الطاقة الكهربائية في مصر (٤)، كما يتضح بالشكل (١-١٦) بصفحة ١٢.



شكل (١-٥) تطور متوسط استهلاك الطاقة الكهربائية للفرد في العالم منذ عام ١٩٧٠ إلى ٢٠٢٠
المصدر: الباحث

شكل (١-٤) تطور سكان الحضر في العالم منذ عام ١٩٥٠ إلى ٢٠٢٠
المصدر: الباحث

١-١-٣ أزمات الطاقة

تعد الطاقة أحد أهم التحديات في التاريخ الحديث والمعاصر، لارتباطها بشكل مباشر بالأزمات والصراعات الدولية التي تواجه البشرية منذ عام ١٩١٤، حيث كان من أهم أسباب الحرب العالمية الأولى السيطرة على حقول البترول في منطقة الخليج العربي والجزيرة العربية، وذلك بسبب تزايد الطلب على البترول ومشتقاته لسهولة نقله وتخزينه وتعدد صور استخدامه، وكان لعجز ألمانيا عن توفير مصادر للطاقة أثراً كبيراً في الحرب العالمية الثانية، والتي مثلت ثاني الصراعات الدولية الكبيرة، وتمثلت الأزمة الثالثة عام ١٩٧٤ مع تخلى الولايات المتحدة بالتزامها باتفاقية "بريتون

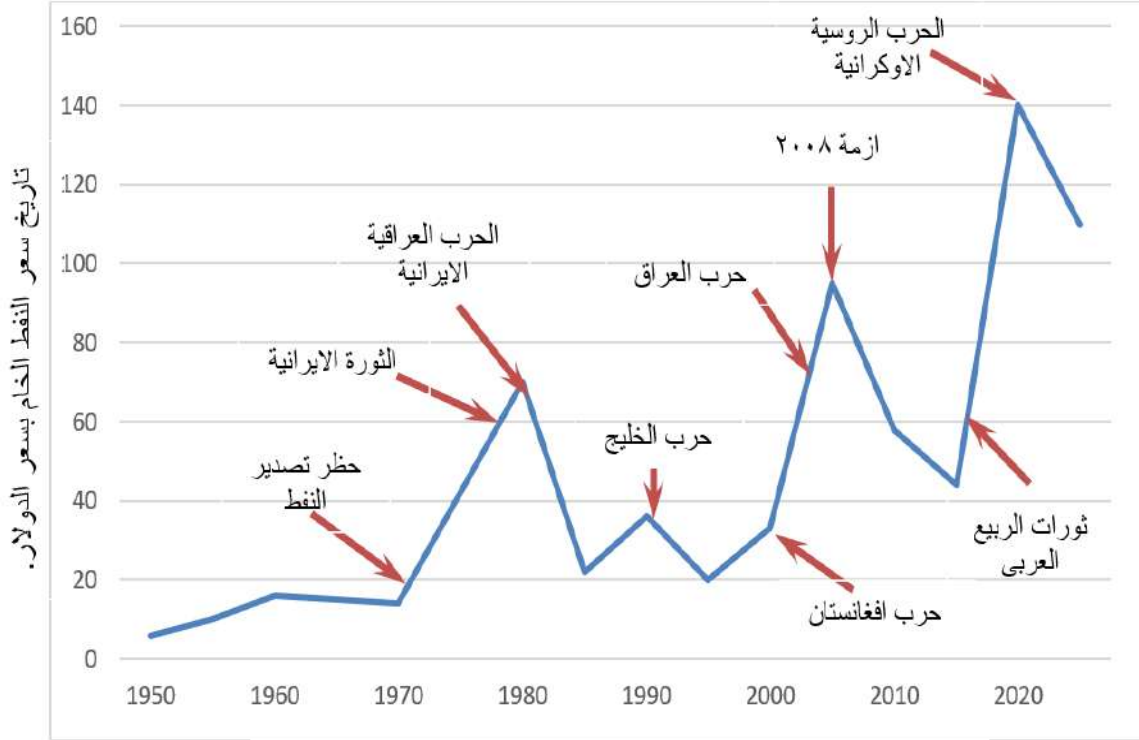
(1) – World Bank Data. 2023.

(2) – Pérez-Lombard, L. Ortiz, J and Pout, C. "A review on buildings energy consumption information," Energy Build., vol. 40, pp. 394–398, 2008.

(3)– Mohamed, H. Towards Zero-Energy Housing in Egypt. International Journal on: The Academic Research Community Publication. 2019. <http://www.press.ierek.com>

(4) – Ministry of Energy and Electricity, 2022. Energy in Egypt Annual Report 2021/2022.

وودز^(١) بربط الذهب بالدولار، مما أدى إلى ارتفاع أسعار البترول، ونشوب أزمة الطاقة الكبرى^(٢). وتوالت الأزمات بعد ذلك مروراً بالحرب العراقية الإيرانية عام ١٩٨٠، ثم غزو العراق للكويت عام ١٩٩٠^(٣)، ثم مؤخراً الحرب الروسية الأوكرانية في ٢٤ فبراير عام ٢٠٢٢، مما أدى لارتفاع أسعار النفط الخام ليصل إلى ١٣٠ دولار للبرميل، كما يتضح بالشكل (٦-١).



شكل (٦-١) تطور سعر برميل النفط بالدولار من عام ١٩٥٠ إلى ٢٠٢٢

المصدر: الباحث

ويتمثل الوجه الأخر لأزمات الطاقة في الزيادة الهائلة لاستهلاك الطاقة التي تهدد مصادر الطاقة التقليدية (الفحم والبترول والغاز الطبيعي) بالنضوب على المدى القصير، وهو متوقع بحلول عام ٢٠٥٠م، وهذا بالنسبة للدول التي تتوافر فيها تلك المصادر، أما الدول المستوردة للطاقة فالأمر يهدد كيانها الاقتصادي واستقلالها السياسي^(٤)، ويوضح الشكل (٧-١) مصادر الطاقة التقليدية والاعتماد على النفط والغاز الطبيعي. كما تتمثل الوجه الثالث للأزمة في التغيرات المناخية التي سنتعرض لها بالتفصيل.

(١) - اتفاقية بريتون وودز: اتفاقية تم عقدها بعد الحرب العالمية الثانية عام ١٩٤٤ بهدف تحقيق استقرار الاقتصاد العالمي بعد الحرب العالمية الثانية، وتم فيها تثبيت سعر صرف الدولار الأمريكي أمام الذهب، حيث أصبح سعر اوقية الذهب ٣٥ دولار، ثم تثبيت عملات الدول أمام الدولار الأمريكي، وعدم السماح لسعر صرف العملة بالتقلب أكثر من ٢٪ من قيمة الدولار، كما انتهت اتفاقية بريتون وودز عام ١٩٧٣ بعد رفض نيكسون لتسليم الذهب إلى دول أوروبا التي حققت فائض، وبذلك أصبح من حق الدول تعويم عملاتها وتحقيق قيمتها من خلال حجمها في السوق.

https://fortune Arabia.com /اتفاقية بريتون وودز at 18-1-2023. at 2:30 pm.

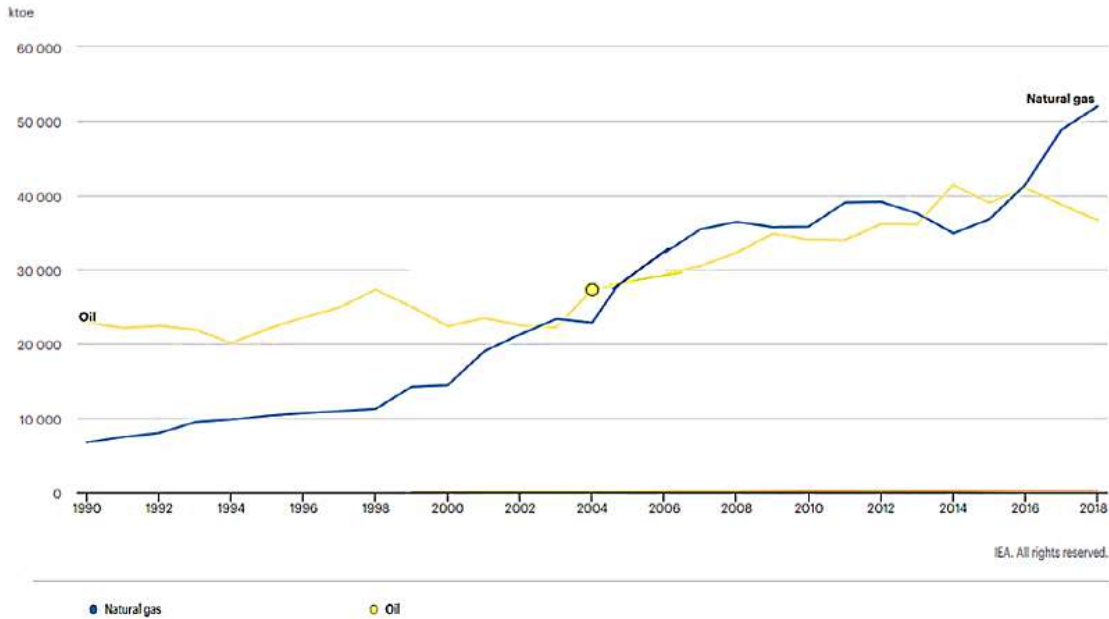
(2)- Chen, J. Physics of Solar Energy book. July 2011. Willy Publisher.

https://www.wiley.com/en-in/Physics+of+Solar+Energy-p-9780470647806. at 12-4-2023. at 4:30 pm.

(٣) - ماجد أبو النجا الشرفي. الأبعاد الاقتصادية لاستخدامات الطاقة الشمسية في جمهورية مصر العربية. الجمعية المصرية للاقتصاد السياسي والاحصاء والتشريع. مج ١٠٣، ع ٥٠٤، ص ٨٥-١٦٢. أكتوبر، ٢٠١١.

(4) - Trends in Global CO2 Emissions, Pbl Netherlands Environmental Assessment Agency REPORT, 2013.

http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2013-trends-in-global-co2-emissions-2013-report-1148.pdf. at 22-2-2023. at 10:00 pm.



شكل (٧-١) استخدامات الطاقة التقليدية منذ عام ١٩٩٠ حتى ٢٠١٩
المصدر: IEA 2021

١-١-٤ التغيرات المناخية

أكدت جميع الأدبيات المتعلقة بالتنمية المستدامة أن سبب نشأت التغيرات المناخية ارتباطها بأزمات الطاقة، فمع زيادة الاستخدام العالمي للوقود الأحفوري تنامت انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون (CO2) كنواتج للاحتراق، مما أدى إلى زيادة معدل تلوث الهواء، وارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي للأرض المعروف باسم ظاهرة "الاحتباس الحراري"^(١). ويتوقع مع استمرار هذا الوضع أن تزداد معدلات الانبعاثات الكربونية بحوالي سبعة أضعاف، مما سيكون له أثره الكارثي على البيئة، ومن ثم الاقتصاد والتنمية العالمية. وأوصت دراسة قدمتها الهيئة الاستشارية الدولية لتغيرات المناخ (IPCC) أن استمرار السياسات الحالية بدول الاتحاد الأوروبي والشرق الأوسط وشمال أفريقيا، سوف يؤدي إلى تزايد الانبعاثات الكربونية من ٧٧٠ مليون طن/سنة عام ٢٠٠٨ نحو ٢ مليار طن عام ٢٠٥٠، ويتوقع المختصون بأنه إذا استمر الحال كما هو فإن كمية الانبعاثات الكربونية ستزداد من سبعة مليارات طن سنوياً إلى أكثر من ٣٥ مليار طن سنوياً^(٢) كما يتضح بالشكل (١-٨)، وقد تمثلت أوضح هذه التغيرات المناخية فيما يلي: -

١-١-٤-١ ارتفاع درجات الحرارة: أدى ظاهرة الاحتراز العالمي بالتعبية إلى ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي، كما يتضح بالشكل (١-٩)، مما نتج عنه احتراق العديد من الغابات وخاصة في أوروبا، حيث ساهم الجفاف ودرجات الحرارة المرتفعة في زيادة حدة الحرائق في الغابات، حيث كان شهر يوليو عام ٢٠٢١ من الشهور التي شهدت ارتفاع غير مسبوق في درجات الحرارة العالمية في أوروبا، حيث وصلت ذروتها في اليونان بمعدل ٤٧ درجة مئوية^(٣)، ويوضح الشكل (١-١٠) حرائق الغابات التي انتشرت في أوروبا عام ٢٠٢١، والجدير بالذكر أن حرائق الغابات مسؤولة أيضاً عن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري على مستوى العالم.

(1) - Edenhofer, O. etal. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge: Cambridge University Press.2011. <http://dx.doi.org/10.1017/CBO9781139151153>

(2) - Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, http://www.ipcc.ch/publications_and_data.

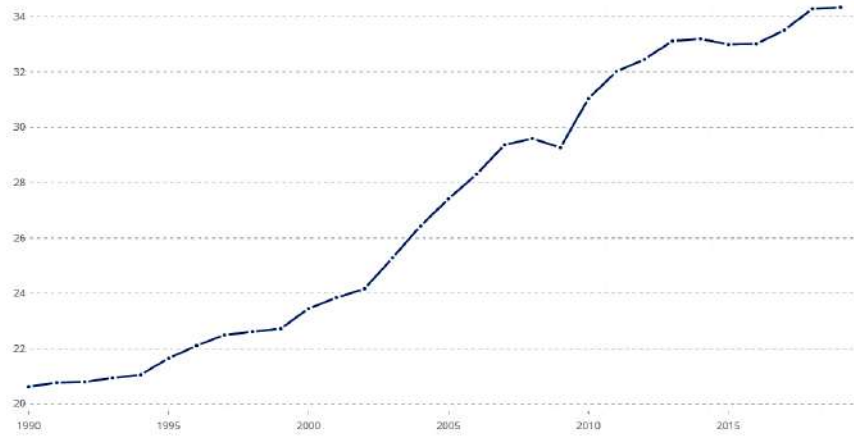
(٣)- ستيوارت براون. أوروبا تحترق. ٢٠٢١.

أوروبا-تحترق-لماذا-تسارعت-وتيرة-حرائق-الغابات-الدمرة/a-58811302/https://www.dw.com/ar ./https://www.dw.com/ar ١٥-٨-٢٠٢١ م، ٢٠٢٥ pm.

شكل (٨-١)

انبعاثات غاز CO2 في العالم
من عام ١٩٩٠ حتى ٢٠١٩
المصدر:

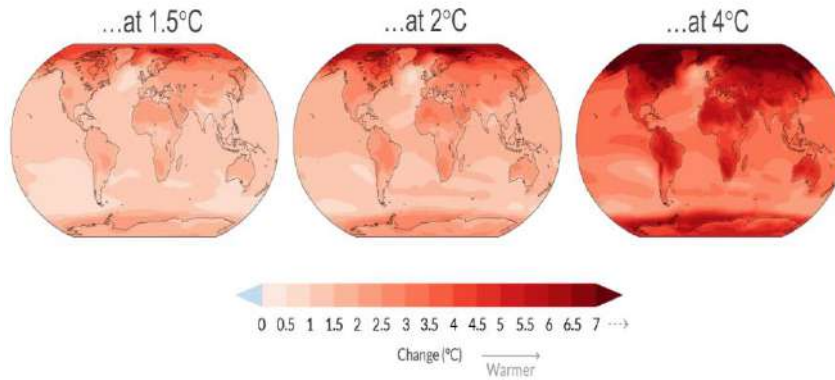
<https://data.albankaldawli.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>



شكل (٩-١)

آثار ارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي
على العالم
المصدر:

Climate Change 2021 The
Physical Science Basis
report



شكل (١٠-١)

توزيع حرائق الغابات في أوروبا
عام ٢٠٢١
المصدر:

<https://www.dw.com/ar/>



كما ازداد معدل ذوبان جليد القطبين بسبب ارتفاع درجات الحرارة، وتقلصت مساحة الجليد بنحو ٢٦٧ جيجا طن من الجليد سنوياً بين عام ٢٠٠٠ إلى ٢٠١٩^(١)، ومن المتوقع أن يزداد معدل الذوبان بسرعة أكبر، مما سيؤدي بالتبعية

(1) – Hugonnet, R. and etal. Accelerated global glacier mass loss in the early twenty-first century. Nature, Vol 592. 29 April 2021.

<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03436-z>. at 30-3-2023. at 1:00 pm.

إلى ارتفاع مستوى سطح البحر بحوالي متر، وبالتالي غرق العديد من المدن والمناطق الساحلية، وذلك بناء على دراسة "سكالين"، كما يتضح بالشكل (١١-١).



شكل (١١-١)
أثر التغيرات المناخية على كوكب الأرض
وغرق العديد من دول العالم
المصدر:
https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/s0ze1n/future_map_of_the_world_by_gordonmichael_scallon/. at 14-9-2022.

ومع ارتفاع درجة الحرارة يزداد معدل تبخر المياه من المسطحات المائية، ويؤدي ذلك بالتبعية إلى حدوث جفاف في بعض الأقاليم، التي لا يتم فيها تعويض التبخر المتزايد بهطول الأمطار، ومنها شرق أفريقيا وأمريكا الجنوبية وبعض أجزاء من أستراليا، فضلاً عن جفاف العديد من الأنهار في بعض البلاد الأوروبية مثل نهر "وودهاد" بالمملكة المتحدة ونهر الراين، كما يتضح بالشكل (١٢-١)، مما ينتج عنه حدوث فيضانات في أقاليم أخرى، كما حدث في ألمانيا والصين والسودان عامي ٢٠٢١ و٢٠٢٢^(١) كما يتضح بالشكل (١٣-١).



ب- جفاف نهر الدانوب

والكشف عن هياكل سفن حربية تعود للحرب العالمية الثانية



١- جفاف نهر "وودهاد"

بالمملكة المتحدة

شكل (١٢-١) جفاف الأنهار في أوروبا عام ٢٠٢٢



ج- فيضانات السودان عام ٢٠٢٢



ب- فيضانات الصين عام ٢٠٢٢

شكل (١٣-١) تداعيات الفيضانات الناتجة عن التغيرات المناخية

المصدر: <https://www.bbc.com/arabic/science>

(١) - مات ماجراث. التغير المناخي، اخبار بي بي سي. ٢٠٢١.

<https://www.bbc.com/arabic/science-and-tech-58091795>. at 15-8-2021. at 7:35 pm.

١-٤-٢ اختلال الدورة المناخية: يتسبب الاحتراز العالمي في نشأة العديد من المرتفعات والمنخفضات الجوية، مما ينشأ عنه موجات حارة أو باردة، وحركة شديدة للرياح تؤدي لحدوث العواصف والأعاصير، مما يؤدي لتراجع إنتاج المحاصيل الزراعية، وضعف خصوبة التربة، فمع ارتفاع درجة الحرارة ١,٥ ° سوف تتأثر العديد من المحاصيل الاقتصادية، مثل القمح والأرز والذرة وفول الصويا، مما يهدد العالم بأزمات في الغذاء، وعند ارتفاع درجة الحرارة إلى ٤ ° سينقرض ما يقرب من ٤٠٪ من فصائل النباتات والحيوانات^(١)، ومن المحتمل انقراض أكثر من نصف الحياة البحرية^(٢)، كما يتضح بالشكل (١-٤). قد يبدو المبالغة في تصور الكوارث التي يمكن أن تتعرض لها الحضارة الإنسانية بسبب التغيرات المناخية، لكن يذكر التاريخ أن هناك العديد من الحضارات التي اندثرت بالفعل بسبب هذه التغيرات، ولعل أوضحها حضارة المايا التي امتدت من ٣٠٠ إلى ١٠٠٠م، واندثرت بسبب تغير المناخ من رطب مطير إلى جاف، وما استتبعه من مجاعات وحروب. بما كان سبب في انهيار حضارة المايا^(٣).

ونتيجة لتلك العواقب تم طرح مجموعة من الاتفاقيات الدولية بداية من اتفاقية "كيوتو" عام ١٩٩٧ للحد من تلوث البيئة، وتعاقدت بعدها الجهود الدولية بهدف خفض الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية^(٤)، حيث طرحت منظمة الأمم المتحدة للبيئة عام ٢٠٢١ أربعة سيناريوهات لمستقبل المناخ في العالم، تمثل هذه السيناريوهات مدى السرعة التي سيحد بها البشر من انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري، كما يتضح بالشكل (١-٥). وتم تصنيف كل من السيناريوهات لتحديد مستوى الانبعاثات، وما يطلق عليه المسار الاجتماعي الاقتصادي المشترك، فالسيناريوهات للمناخ كالتالي: -

السيناريو الأول: يحقق هدف اتفاقية باريس في إبقاء زيادة درجة الحرارة على مستوى العالم عند ١,٥ ° أعلى من مستوياتها قبل الثورة الصناعية، ثم تتراجع وتستقر حول ١,٤ ° بنهاية القرن الحالي، وهو يعد من أكثر السيناريوهات تفاؤلاً، حيث تنخفض الانبعاثات الكربونية عالمياً إلى الصفر عام ٢٠٥٠، وفيه تتحول المجتمعات إلى ممارسات أكثر استدامة، مع تحول التركيز من النمو الاقتصادي إلى المصلحة العامة، وتزداد فيه استثمارات التعليم والصحة، ولكن ستظل الظواهر الجوية المتطرفة أكثر شيوعاً.

السيناريو الثاني: تتأرجح الانبعاثات الكربونية حول مستوياتها الحالية قبل أن تبدأ في التراجع في منتصف القرن، حيث ترتفع درجات الحرارة ٢,٧ ° بنهاية القرن، ولكنها لا تصل إلى الصفر بحلول عام ٢١٠٠، وفيه تتبع العوامل الاجتماعية والاقتصادية اتجاهاتها التاريخية دون تحولات، ويتسم ما يتحقق من تقدم باتجاه الاستدامة بالبطء، وفي الوقت نفسه تكبر التفاوتات في التنمية والدخل.

السيناريو الثالث: في هذا المسار ترتفع الانبعاثات ودرجات الحرارة بشكل طردي، وتزيد الانبعاثات الكربونية ضعف المستويات الحالية تقريباً بحلول عام ٢١٠٠، ويتزايد التنافس فيما بين الدول مع التركيز على الأمن الوطني، وضمان الإمدادات الغذائية لشعبها، وبنهاية القرن ترتفع درجات الحرارة ٣,٦ ° في المتوسط.

(1) – Hussein. A. Principles of environmental Economic. Chapter 7, Routledge, London, 2004, p.27.

(2) - UNEP (2017, 2021) Emissions Gap Report, (2021) Adaptation Gap Report, United Nations Environment Program.

(٣) - رويترز. اندثار حضارة المايا، ٢٠٢١.

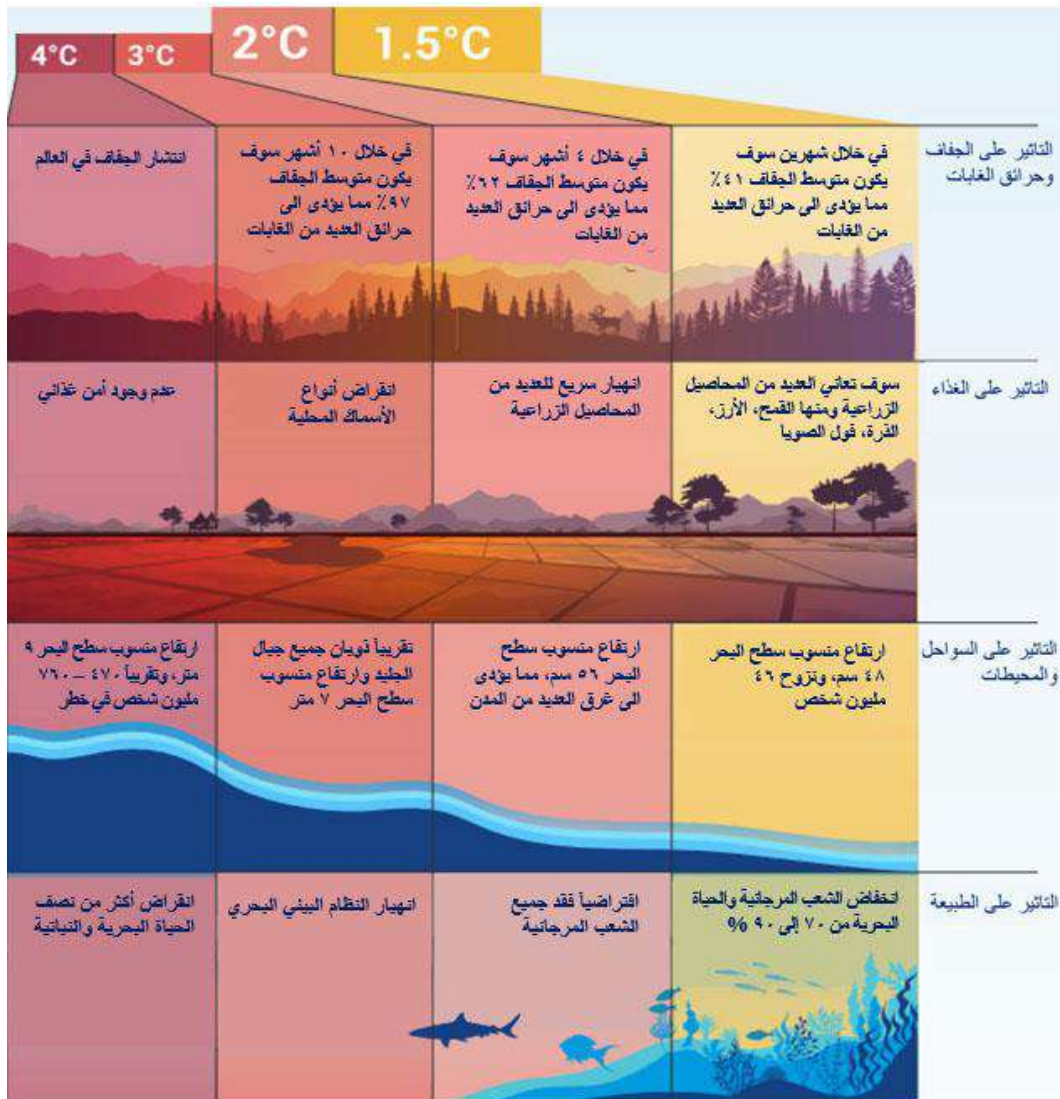
<https://www.dw.com/ar/>. هل-ساهم-تغير-المناخ-في-اندثار-حضارة-المايا. at 15-8-2021. at 8:00 pm.

حيث المايا هي اسم حضارة قامت شمال جواتيمالا وأجزاء من المكسيك حيث الغابات الاستوائية وهندوراس والسلفادور.

McKenna, A. Maya People. The Editors of Encyclopedia Britannica. 2023.

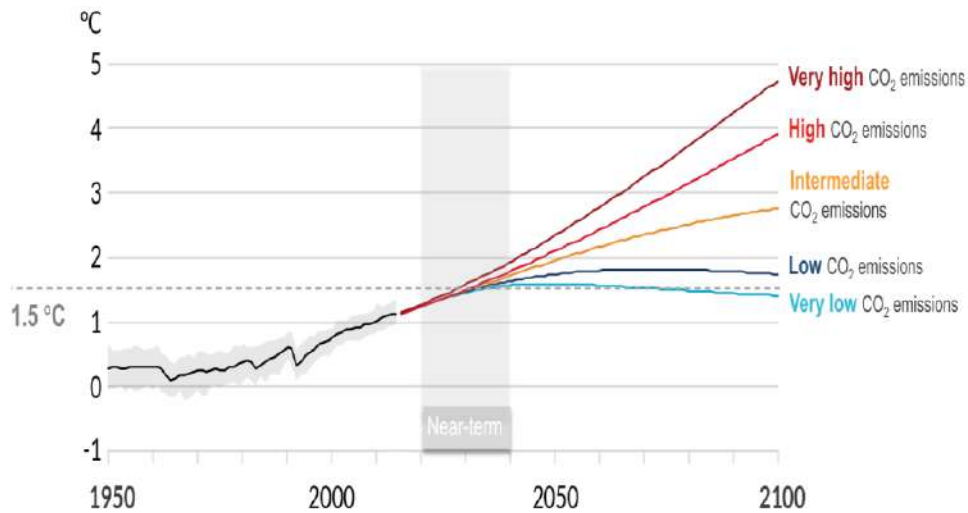
<https://www.britannica.com/topic/Maya-people>. at 12-4-2023. at 8:22 pm.

(4)– Kyoto Protocol to the United Nations framework convention on climate change, 1997. UNDOC, FCCC/Cp/L7/Add.1



شكل (١٤-١) تأثير التغيرات المناخية على نواحي الحياة البيئية في العالم

بتصرف عن المرجع: UNEP (2017, 2021) Emissions Gap Report, (2021) Adaptation Gap Report, United Nations Environment Program



شكل (١٥-١) أثر الانبعاثات المستقبلية لظاهرة الاحتباس الحراري والانبعاثات الكربونية

المصدر: Climate Change 2021 The Physical Science Basis report

السيناريو الرابع: وهو أسوأ سيناريو على الإطلاق، ويجب العمل على تحاشيه، وفيه تستمر مستويات الانبعاثات الكربونية في الارتفاع بحلول عام ٢٠٥٠، وينمو الاقتصاد العالمي بوتيرة سريعة، ويغذي هذا النمو استغلال أنواع الوقود الأحفوري، وتعتمد أساليب الحياة على الاستخدام الكثيف للطاقة، وبحلول عام ٢١٠٠ ترتفع درجات الحرارة العالمية ٤,٦ ° في المتوسط.

ولا يحدد لنا التقرير أرباح السيناريوهات، ولكنه يوضح الكيفية التي ستؤثر بها اختياراتنا الحالية على المستقبل^(١). وبناء على ما سبق تكمن أهمية قياس معدلات انبعاث غاز CO2 التي يستدل منها على مدى مساهمتنا السلبية في زيادة الأحمال البيئية، ومن هنا ظهر ما يسمى بالبصمة الكربونية (Carbon Footprint)، وهو مؤشر يتم من خلاله التعبير عن كمية انبعاثات غاز CO2 الناتجة عن الأنشطة المختلفة، ويمكن تعريف البصمة الكربونية على أنها: "إجمالي الغازات الدفيئة الناتجة عن الانبعاثات الصناعية أو الخدمية أو الشخصية"، وقياسها يكون سعيًا للحد من الآثار السلبية لتلك الانبعاثات، ويتم استخدام البصمة الكربونية على عدة مستويات، حيث تستخدم للتعبير عن معدلات انبعاث غاز CO2 على مستوى الفرد والمؤسسات والدول، أو حتى على مستوى عملية إنتاج منتج معين، أو على مستوى نشاط معين، وغالباً ما يعبر عنها بوحدة الطن من انبعاثات CO2 في السنة^(٢).

١-١-٥ مصادر الطاقة المتجددة

يتضح مما سبق أن سرعة التغير في مناخ كوكب الأرض في الآونة الأخيرة أصبح مهدداً للحياة، وبالتالي أصبح الحل الأمثل لإنقاذ كوكب الأرض وموارده من الدمار الاتجاه نحو استخدام طاقة متجددة ونظيفة، وبالتالي توجه الاهتمام العالمي باستدامة البيئة نحو مصادر الطاقة النظيفة باختلاف أنواعها، كخيار استراتيجي لتوفير المتطلبات المستقبلية للتنمية^(٣)، وخاصة مع محدودية مصادر الطاقة التقليدية، وإنها مهددة بالنضوب، لذلك بدأت دول العالم بالتفكير العقلاني باستخدام مصادر طاقة نظيفة مستدامة، تحافظ على البيئة^(٤).

ويمكن تعريف الطاقة المتجددة على أنها الطاقة المستمدة من الموارد الطبيعية التي تتجدد دائماً ولا تنضب، وهي طاقة نظيفة، ناتجة عن موارد طبيعية، ومن أهم سماتها التجدد والحفاظ على البيئة^(٥)، ولا ينتج عنها مخلفات أو انبعاثات ضارة، كما يحدث عند احتراق الوقود الأحفوري أو المخلفات والإشعاعات النووية^(٦). ومن أهم مميزات الطاقة المتجددة توافرها في أغلب مناطق العالم، مع استمرارية تواجدها، وكونها مجانية، فهي لا تكلف سوى المعدات الأساسية اللازمة لتوليد تلك الطاقة، وتتمثل عيوبها في أن تكاليف إنتاجها أكثر من الطاقة التقليدية، كما تستلزم مسطحات كبيرة سواء من الأرض أو المياه، ولكن مع التطور التكنولوجي سوف تقل هذه التكلفة^(٧). وتشمل مصادر الطاقة المتجددة المصادر التالية: طاقة الرياح والطاقة الكهرومائية وطاقة الحرارة الجوفية وطاقة الهيدروجين والطاقة الشمسية.

(١) - رويترز. الأمم المتحدة تطرح ٥ سيناريوهات لمستقبل المناخ في العالم، ٢٠٢١.

https://www.asharqbusiness.com/news_source/4. 3:20 pm. 2021. 8-15 الأمم المتحدة-تطرح-٥-سيناريوهات-لمستقبل-المناخ-في-العالم.

(2) - Merriam webster Dictionary, Carbon Footprint.

<https://www.merriam-webster.com/dictionary/carbon%20footprint>. at 3-10-2021.

(3) - Fräss-Ehrfeld, C. Renewable energy sources: A chance to combat climate change (Vol 1). Kluwer Law International, 2009.

(٤) - ماجد ابو النجا الشرفاوي، المرجع السابق.

(5)- Jordan-Korte, K. Government promotion of renewable energy technologies. Gabler, 2011.

(٦) - محمد الخطيب. دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة والتشكيل المعماري للمباني السكنية في قطاع غزة. بحث غير منشور، كلية الهندسة، الجامعة الإسلامية بغزة، ٢٠١٥.

(٧) - إنكين دونالد. التحول الى مستقبل الطاقة المتجددة. المنظمة الدولية للطاقة الشمسية، ترجمة هشام العجاوي، ٢٠٠٥.

٢-١ 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 دراسة إمكانية استخدام هذا النظام في مصر، والتي يتوافر بها الإشعاع الشمسي بصورة كبيرة، من خلال الفرضية التالية: "أن غلاف المباني السكنية الجديدة في مصر يمكن أن يشكل مصدراً هاماً لإنتاج الطاقة الكهربائية المستدامة". وكانت الحاجة إلى الإجابة على تلك الاسئلة البحثية المتعلقة بالمشكلة موضع الدراسة وهي: -

- ١) ما هي المحددات التصميمية التي تحكم استخدام نظام BIPV في المباني السكنية مصر؟
 - ٢) كيف يمكن أن يؤثر استخدام نظام BIPV على لغة التعبير المعماري للمبنى؟
 - ٣) ما هي محددات الموقع العام للمباني السكنية باستخدام نظام BIPV؟
 - ٤) ما هي المحددات الاقتصادية لاستخدام نظام BIPV في مصر؟
- وذلك بالنسبة إلى المجاورات السكنية الجديدة التي يمكن إنشائها بمدن الجيل الخامس بمصر .

٣-١ الهدف من البحث

في إطار المشكلة البحثية تتمثل أهداف البحث فيما يلي: -

- التوصل لمجموعة من الاشتراطات البنائية لإنشاء المباني السكنية الجديدة في مصر، من خلال استخدام نظام BIPV للوصول إلى مبنى مستدام، يتناسب مع الظروف المحلية.
- وضع ملامح مبدئية لصياغة سياسة إسكان جديدة يمكن تطبيقها في مدن الجيل الخامس بمصر .
- التوصل لمجموعة من التوصيات يمكن أن تمهد لتطبيق نظام BIPV في مصر .

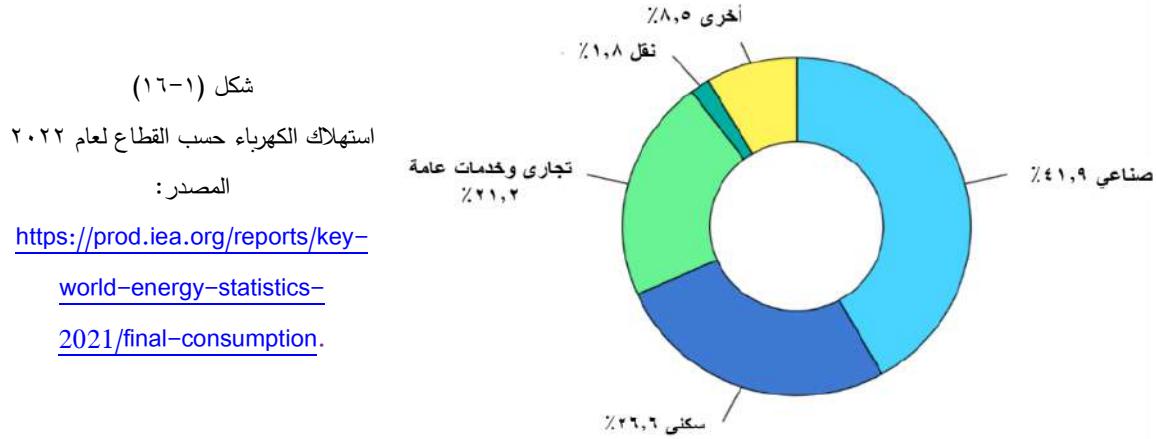
٤-١ أهمية البحث

تعد جمهورية مصر العربية أكثر دول شمال افريقيا والمنطقة العربية اكتظاظا بالسكان، وهي من أكثر الدول على مستوى العالم التي يتزايد فيها التعداد السكاني على نحو متسارع مما أدى إلى تزايد الطلب والاحتياج للطاقة واضعا ضغوطاً كبيرة على موارد الطاقة المحلية، حيث إنها أكبر مستهلك للنفط والغاز على مستوى قارة افريقيا، وهو ما اتضح خلال عامي ٢٠٢٣ و ٢٠٢٤ من تبنى الدولة لخطط تخفيف الاحمال الكهربائية، وتزايد شكوى المواطنين من انقطاع الكهرباء، حيث أن الوقود الأحفوري وخاصة النفط والغاز موجود حول خليج السويس والجزء الشمالي من الصحارى الغربية وكميات صغيرة من الفحم في سيناء، ومع الزيادة الحالية في أسعار النفط وإنتاجه غير المستدام، وكذلك التحرك الدولي ضد تطور غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج عن حرق الزيوت الأحفورية، من الضروري أن تركز مصر المزيد من الجهود لتعزيز استخدام الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية ، والرياح ، والغاز الحيوي ، والكتلة الحيوية)، فتمثلت أهمية البحث فيما يلي: -

- إمكانية تحويل العمران السكنى في مصر من وحدات مستهلكة للطاقة لوحدات منتجة للطاقة النظيفة.
- إمكانية وضع حل واقعي لإنتاج الطاقة الكهربائية من السياق العمراني المحلى، وإيجاد مصدر للطاقة المستدامة النظيفة منخفضة التكلفة.

٥-١ محددات البحث

تمثلت محددات البحث في إطار المحددات النوعية، حيث أهتم البحث بالعمارة السكنية والتي تمثل من ٧٠ إلى ٨٠٪ من عمران أي مدينة، كما تستهلك المباني السكنية حوالي ٢٧٪ من إجمالي استهلاك الطاقة، حيث يمثل قطاع الطاقة في مصر ١٣٪ من الناتج القومي الإجمالي، كما يتضح بالشكل (١٦-١)، وقد أصدرت وزارة الكهرباء الإستراتيجية المستدامة والمتكاملة للطاقة في عام ٢٠١٥، تتوقع فيها أن تصل سعة الطاقة المتجددة إلى ٤٢٪ من إجمالي سعة الكهرباء في مصر بحلول عام ٢٠٣٥ (١).



٦-١ منهجية البحث

يندرج البحث ضمن البحوث التجريبية الكمية، وقد ارتكزت الدراسة على الإجراءات التالية: -
 (١) التجربة العملية وكان الغرض منها تحديد كمية الطاقة الكهربائية الناتجة من ألواح BIPV مقاسة بالكيلو وات ساعة وفقاً لتوزيع الواجهات حسب الجهات الأصلية، تبعاً لإحداثيات شيبين الكوم.
 (٢) عملية المحاكاة على عدد من النماذج الافتراضية (٦ نماذج)، والنماذج الواقعية (٧ نماذج)، حيث اعتمدت عملية المحاكاة على مجموعة من التطبيقات بلغ عددها ١٠ تطبيقات.

ويستخدم البحث حزمة من البرامج لعمل المحاكاة، كما يتضح بالشكل (١٧-١) وهي:

- (١) تطبيق Ladybug المستخدم ضمن تطبيق Grasshopper في برنامج Rhinoceros version 7، استخدم في تحليل بيانات الطقس ومسار حركة الشمس وحركة الظلال.
- (٢) تطبيق Skelion Version 5.4.1 و SunHours المستخدم في برنامج Google SketchUp Pro 2022، استخدم في تحليل مسار حركة الشمس ووضع الألواح على نماذج المحاكاة ومعرفة الحسابات الخاصة للكهرباء الناتجة عن الألواح.
- (٣) تطبيق PV System Version 6.7.0، استخدم في تقدير حسابات الألواح بدقة المثبتة في الأوضاع المختلفة في نماذج المحاكاة المختلفة.
- (٤) تطبيق PV GIS Version 5.2، استخدم في التقدير التقريبي لحسابات الألواح المثبتة في الأوضاع المختلفة، وأيضاً لمعرفة المتغيرات الجوية من خلال ملفات الطقس.

(1)- International Renewable Energy Agency -IREN. Renewable Energy Outlook: Egypt, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2018.

- ٥) تطبيق Climate Consultant Version 5.4، لمعرفة المتغيرات الجوية من خلال ملفات الطقس.
 ٦) تطبيقين EASY PV و Solar-Estimate، استخدما في الحسابات التقديرية للألواح المثبتة على السطح.
 ويتضح بالشكل (١-١٨) الخريطة الخاصة بالدراسة التطبيقية الخاصة بالبحث.



شكل (١-١٧) التطبيقات المختلفة المستخدمة لعمليات المحاكاة

المصدر: الباحث



شكل (١-١٨) الخريطة الخاصة بالدراسة التطبيقية

المصدر: الباحث

٧-١ الإضافة العلمية للبحث

تتمثل الإضافة العلمية للبحث في إيجاد المحددات التصميمية والتعبيرية والتخطيطية والاقتصادية لاستخدام نظام BIPV في المباني السكنية في مصر، من خلال تحويل المبنى السكني في مصر إلى مبنى منتج للطاقة ومن ثم إيجاد اشتراطات بنائية جديدة تكون أساس لصياغة سياسة إسكان جديدة في إطار مدن الجيل الخامس بمصر.

٨-١ الدراسات السابقة

تطرق البعض من الدراسات والأبحاث إلى البحث في أنظمة BIPV في المباني وتطبيقاتها في العالم، ولكنها ما زالت تحت الدراسة لأنه دراسة جديدة في مجال الطاقة الجديدة والمتجددة وتطبيق جديد من تطبيقات النظام الشمسي وهو نظام تكامل الألواح مع الغلاف الخارجي للمبنى، حيث من أهم الدراسات التي ظهرت في هذا الاتجاه ما يلي: -

أ- تكامل الألواح الشمسية مع السياق المعماري للمباني السكنية، مدينة أربيل كدراسة حالة، ٢٠٢٠ (١).

تمثلت مشكلة البحث في دراسة الوسائل الحديثة في استخدام الألواح الشمسية بشكل متكامل مع الشكل المعماري، واستخدام الطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة النظيفة والمتجددة، ودمجها في المباني السكنية، حيث يمثل هذا تحدياً معمارياً، بينما تم إهمال الجوانب المعمارية في إقليم كردستان العراق، لذلك هناك نقص في معرفة نظام BIPV وكيفية تكاملها مع الغلاف الخارجي للسياق العمراني هناك، وتوجد بعض المشكلات عند تنفيذ هذه الخلايا الكهروضوئية في المباني السكنية بسبب الافتقار إلى الجودة المعمارية الجيدة لأنها لا تلبى اعتبارات التصميم المرغوبة. حيث لا تبدو الألواح وكأنها تنتمي إليها لأنها لم تصمم بما يتماشى مع الشكل المعماري. من المهم ملاحظة أنه لا ينبغي اعتبار منشآت الطاقة الشمسية أنظمة تكنولوجية تخدم فقط أغراض إنتاج الكهرباء، بدلاً من ذلك يجب اعتبارها عناصر تقدم مساهمة مهمة في التصميم المعماري. يهدف البحث إلى استكشاف الطرق الممكنة لدمج التقنيات الكهروضوئية في المباني السكنية، من أجل زيادة التركيز على التعبير المعماري، بالإضافة إلى دورها في إنتاج الطاقة. ويركز على إمكانيات التصميم فيما يتعلق باستخدام تقنيات الطاقة الشمسية في المباني مع بعض الأساليب المبتكرة، وينصب التركيز الأساسي على الجزء الجمالي من التكامل لأن هذا يؤثر على الناس والمبنى. وكانت أسئلة البحث في كيفية يمكن دمج الألواح الشمسية (الكهروضوئية) معمارياً في المباني، وتحديد المباني السكنية، لخدمة غرض تحسين الجودة المعمارية إلى جانب توليد الطاقة الشمسية في إقليم كردستان العراق؟ وكانت الفرضية البحثية بإمكانية دمج النظام معمارياً في المباني السكنية لإضافة قيمة إلى جمالية للمبنى، كما يمكن استخدام النظام كعنصر بناء، وكانت المنهجية المستخدمة في البحث من خلال دراسة الأمثلة الكهروضوئية المتكاملة معمارياً لدراسات الحالة الدولية من خلال الأدبيات في الإطار النظري، وذلك لاشتقاق مجموعة من العوامل التي تؤثر على سلامة الألواح الكهروضوئية، ومن ناحية أخرى تم تحليل أمثلة للمنازل الكهروضوئية المحلية في أربيل واستخلاص النتائج، وإنشاء نموذج أولي بناءً على هذه النتائج، ثم تطبيق التكامل الكهروضوئي المحتمل الذي تم الحصول عليه من الأمثلة الدولية على النماذج الأولية المحلية. وتوصل البحث إلى مجموعة من التوصيات ومنها أن استخدام نظام BIPV يضيف تكامل معماري للطاقة الكهروضوئية عند تصميمه جيداً، كما يضيف قيمة جمالية للمبنى. لذلك يجب استخدامه على عكس نوع تثبيت BAPV الحالي. وتمت الاستفادة من البحث من خلال معرفة أن التكامل المعماري للأنظمة الكهروضوئية ممكن أن يضيف القيم والخصائص الجمالية للمباني، حيث تتمتع أنظمة BIPV بمرونة كبيرة مع طرق هائلة للتكامل مع السطح أو الواجهة أو أي عناصر أخرى في أي مبنى، كما لا ينبغي اعتبار منشآت الطاقة الشمسية أنظمة تكنولوجية تخدم فقط أغراض إنتاج الكهرباء، بدلاً من ذلك يجب اعتبارها كعناصر تقدم مساهمة مهمة في التصميم المعماري.

ب- طاقة نظيفة للمساكن السكنية في نيجيريا، ٢٠٢٠ (٢).

تمثلت مشكلة البحث في استخدام الطاقة النظيفة في المباني السكنية وخاصة في نيجيريا بسبب انقطاع الكهرباء، حيث يمثل انقطاع الكهرباء التحدي الرئيسي الذي يواجه القطاعات السكنية والتجارية والصناعية

(1) - Khaznadar,B. Sktani,P.(2020). Integration of solar panels with the architectural context of residential buildings, Erbil city as a case study. Sulaimani journal for Engineering Science. Vol 7, Number 2, June, 2020.

(2) - Elinwa,U, Ogbeba. J, Agboola.O. (2020). Cleaner energy in Nigeria residential housing. Article in journal Results in engineering. 7, feb,2020.

في نيجيريا، حيث يتم إنتاج الكهرباء في البلاد بشكل أساسي من المصادر المائية والحرارية، ومع ذلك فإن إنتاج الكهرباء المتاح أقل بكثير من الطلب، ويعتبر النقص في إنتاج الكهرباء وتوزيعها في القطاعات السكنية والتجارية هو الدافع وراء توليد الطاقة خارج الشبكة من قبل الأفراد والهيئات الاعتبارية في نيجيريا، يتم إنتاج الطاقة خارج الشبكة بشكل أساسي باستخدام مولدات البنزين أو الديزل التي لا تعتبر صديقة للبيئة وتشكل زيادة في البصمة الكربونية للبلاد، ويستمر استخدام مولدات الطاقة خارج الشبكة من ٦٠ إلى ٨٠٪ منذ عام ٢٠٠٢ حتى عام ٢٠١٦، وتعتمد نسبة ٨٤٪ من الأسر الحضرية في المتوسط على المولدات التي تعمل بالبنزين أو الديزل لتزويدها بالكهرباء بينما يعيش باقي السكان بدون كهرباء. ويتمثل الهدف من البحث بتقييم المصادر البديلة التي يمكن أن تسرع من توافر الكهرباء بأقل بصمة كربونية. تمت الاستفادة من البحث في معرفة كيفية استخدام الطاقة النظيفة من خلال استخدام الخلايا الكهروضوئية للمباني السكنية في نيجيريا.

ت- النماذج المعمارية المستقلة عن الطاقة لخطط المجمعات السكنية من خلال الطاقة الشمسية في مدينة دايجو متروبوليتان، كوريا الجنوبية ٢٠١٨ (١).

تمثلت مشكلة البحث في عمل نماذج معمارية مستقلة عن الطاقة للمجمعات السكنية من خلال إنتاج الطاقة المتجددة المعتمدة على الطاقة الشمسية بمدينة دايجو في كوريا الجنوبية، تم اختيار تلك المدينة كمنطقة مستهدفة للمجمع السكني، تم اختيار الموقع الأمثل في المنطقة لتعظيم إنتاج الطاقة المتجددة القائمة على الطاقة الشمسية، وتم تطوير العديد من نماذج التصميم المعماري، ثم تحليل أنماط استخدام الطاقة لكل نموذج تصميمي، وتم إجراء تحليلات اقتصادية مع الأخذ في الاعتبار الأرباح الناتجة عن استخدام الطاقة المتجددة، ثم تم تحديد النموذج الأمثل للمباني السكنية بالنسبة للموقع، وتم التوصل إلى الكفاءة المثلى لتوليد الطاقة الشمسية عندما تم تركيب الألواح الشمسية بزوايا ٢٥ درجة، وهكذا تم ضبط زوايا السقف المنحدرة على ٢٥ درجة، وتم ضبط متوسط ارتفاع المساحة الداخلية للطابق العلوي على ١,٨م، بناءً على هذا النموذج تم إجراء التحليلات المتعلقة بتحسين الاكتفاء الذاتي من الطاقة والاقتصاد. وتمت الاستفادة من البحث في تقديم مجمع سكني مستقل من خلال إنتاج الطاقة المتجددة لمدينة دايجو متروبوليتان كوريا، على عكس المدن الكورية الأخرى في دايجو فإن درجة الاعتماد على الطاقة التقليدية والتي تعد السبب الرئيسي لتلوث البيئة مرتفعة للغاية، لا سيما في القطاعات السكنية والتجارية حيث كان لديها أعلى استهلاك للطاقة، إذا تم استبدال الطاقة التقليدية بالطاقة المتجددة الصديقة للبيئة، فسيكون التأثير كبيراً من الناحية البيئية، تمثل ٦٦,٤٪ من إجمالي إمدادات الطاقة تشير إلى حاجة مدينة "دايجو" إلى تطوير مصادر إمداد طاقة متجددة صديقة للبيئة في المستقبل، حيث تم رسم مواقع الطاقة الشمسية المثلى داخل مدينة دايجو، نتيجة لذلك تم تطوير نموذج تصميم معماري لزيادة استخدام الطاقة الشمسية في مباني مدينة "سان سيو" وهو الموقع الأمثل للاستخدام الطاقة الشمسية، وعند تصميم المبنى تم اعتبار عوامل مثل شكل المبنى وشكل السقف والمسافات بين المباني وبعضها لزيادة الاكتفاء الذاتي من الطاقة للمبنى، نتيجة لذلك تم وضع المباني المستطيلة ذات الأجزاء الأمامية التي تواجه الجنوب الشرقي في وسط كل قطعة لتجنب تداخل الظل، كما يمكن تصنيف أسطح المباني إلى أسطح مستوية وأسقف مائلة، حيث على الأسطح المستوية يتم الحصول على أقصى سعة لتوليد الطاقة الشمسية عند تركيب الألواح الشمسية بزوايا تتراوح من ١٥ إلى ٢٥ درجة، لذلك في هذا البحث تم ضبط زوايا السقف المنحدر على ٢٥ درجة مع الأخذ في الاعتبار لوائح

(1)- Yul kim,S. Choi,H. Eum,J. (2018). Energy-Independent Architectural Models for Residential Complex Plans through Solar Energy in Daegu Metropolitan City, South Korea. Article in Journal of Sustainability. 11, Feb, 2018.

البناء وخصائص توليد الطاقة الشمسية للموقع، وبناءً على هذا النموذج المعماري، تم إجراء تحليل من منظور اقتصاديات وتحسين الاكتفاء الذاتي من الطاقة، وتم تقسيمه إلى ثلاثة أنواع: (١) واحد يسمح بأقصى سعة لتوليد الطاقة الشمسية فيما يتعلق بهياكل الألواح الشمسية (٢) وأخر للوصول إلى مبنى صفرية الطاقة (٣) وأخر يسمح بدعم تركيب الألواح الشمسية، ونتيجة لذلك تم التحقق من أنه حتى من وجهة النظر الاقتصادية، فإن ربط قدرة توليد الطاقة الشمسية من منظور الطاقة الصفرية مع الأخذ في الاعتبار مقدار استهلاك الطاقة للمستهلك أكثر فاعلية من توصيل أقصى سعة لتوليد الطاقة الشمسية وفقاً لهيكل المبنى، علاوة على ذلك عند النظر في الجوانب الاقتصادية فقط، تم التحقق من أن اختيار قدرة توليد الطاقة الشمسية المدعومة وفقاً لتوصيل منشأة الطاقة الشمسية السكنية هي طريقة يمكن من خلالها تعظيم الفوائد التشغيلية. تم التوصل إلى تقديم خطة تصميم معماري للمجمعات السكنية الصديقة للبيئة، باستخدام الطاقة الشمسية كمصدر لتوليد الطاقة الأقرب إلى تكافؤ الشبكة، وفي المستقبل يقترح البحث استخدام مصادر الطاقة المتجددة المختلفة مثل طاقة الرياح وأجهزة تخزين الطاقة.

ث- حلول الطاقة البديلة باستخدام BIPV في المباني السكنية في البلدان النامية: دراسة حالة لشمال قبرص، ٢٠١٧ (١).

تمثلت مشكلة البحث في معرفة إمكانيات دمج الأنظمة الكهروضوئية في المباني السكنية، حيث مع النمو السكاني المتزايد، والطلب على السكن، لجأ المقاولون إلى المباني السكنية شاهقة الارتفاع كحل سكني. وهذا النهج يعتبر مختلف عن السياق العمراني في شمال قبرص، ومع استخدام برمجيات نمذجة معلومات البناء BIM، تم اختبار إمكانية هذا النهج. وتناولت الدراسة العديد من متغيرات التكلفة ومزايا بناء أنظمة الطاقة الكهروضوئية المتكاملة BIPV المدمجة في المباني السكنية في مرحلة تصميم المبنى، كما تم اختبار استعداد قاطني الوحدات السكنية للدفع مقابل تلك التكنولوجيا باستخدام الاساليب النوعية وإجراء تحليل اقتصادي للتأكد من جدوى هذه التكنولوجيا. تم تنفيذ طريقة التحليل باستخدام نموذج مقترح لدمج BIPV في المباني السكنية، وتشير النتائج المستمدة من بيانات المسح إلى أن المستهلكين يفضلون سعر منخفض عند تركيب النظام في وحداتهم. تم استخدام منهجية محددة لعمل الدراسة لتتم على خمس مراحل حيث سيتم تطوير كل مرحلة من مراحل الإطار المقترح باستخدام دراسة حالة لمبنى سكني مكون من ٥ طوابق ويتكون الطابق من ١٠ وحدات في الدور، لهذا الغرض تم إجراء تحليل باستخدام حالة حقيقية عن طريق الملاحظات الدقيقة، من خلال مثال نموذجي لمبنى سكني قائم مع تسخين المياه بالطاقة الشمسية، وأثناء الدراسة تم النظر في بعض المعلومات بما يتماشى مع التطبيقات الكهروضوئية. وتمت الاستفادة من البحث من خلال لا يمكن المبالغة في التأكيد على الحاجة إلى مصادر الطاقة المستدامة في الدراسة البيئية، كما يمكن أن يكون التكامل الكهروضوئي في المباني نهجاً لتقليل الضرر الذي يلحق بالنظام البيئي من خلال مصادر الطاقة التقليدية، على الرغم من أن هذا النظام وتطبيقه لا يزال جديد في مدينة "فاماغوستا" إلا أنه هناك احتمالية لتقليل التكلفة طويلة الأجل لتوليد الكهرباء وبالتالي زيادة المدخرات، ويمكن للسياسات والبرامج الحكومية أن تعزز هذه العملية ومن خلال التعليم والاستثمار في البحث المتقدم في هذا المجال، كما تبين الدراسة أن ٨٤٪ من رواد شغلي الوحدات بنعم في تنفيذ النظام ولكن بسعر منخفض، ولذلك تم تحديد أن التكلفة عامل مهم في اتخاذ القرار ودفح تكاليف BIPV، كما يجب أن يراعى ذلك في عين الاعتبار خاصة في مرحلة تصميم مشاريع الإسكان من أجل توفير التكاليف وتعظيم إمكانية تكامل الأنظمة الكهروضوئية في المباني السكنية.

(1) – Elinwa,U. Radmehr, M. Ogbaba,J.(2017).Alternative Energy Solutions Using BIPV in Apartment Buildings of Developing Countries: A Case Study of North Cyprus. Article in Journal of Sustainability. 15, August, 2017.

ج- دراسة لمبنى صفري الطاقة من BIPV، ٢٠١٣ (١).

تمثلت مشكلة البحث في تحليل أداء الطاقة وتوليد الطاقة لنظام BIPV لمبنى بمدينة "هيسنشو" في تايوان، خلال عامي ٢٠١١ و ٢٠١٢، يبلغ إجمالي توليد الطاقة الكهروضوئية ٥٩٦٠ كيلو وات ساعة، واستهلاك الطاقة ٧٢٥٧ كيلو وات ساعة في عام ٢٠١١، وبعد أعمال العزل وتحديد معايير ووقت تشغيل المعدات الكهربائية، حقق المبنى مستخدم نظام BIPV هدف الطاقة الصفري في عام ٢٠١٢ بإجمالي توليد للطاقة يبلغ ٥٣٢٩ كيلو وات ساعة، واستهلاك الطاقة ٤٢٠٢ كيلو وات ساعة، وكانت نسبة الطاقة المتجددة المستخدمة في المبنى تبلغ ١٢٠٪ باستخدام نظام BIPV، تم تركيب النظام على سقف مائل وواجهة ونافذة وعلى مظلة. وتهدف دراسة نظام BIPV إلى تحقيق التوازن بين توليد الطاقة واستهلاك الطاقة، وتم استبدال الجدار الخارجي لمبنى قديم بأربعة أنواع مختلفة من الوحدات الكهروضوئية في دراسة حالة BIPV، لذا فإن موضع التركيب وزاوية الاتجاه غير مناسبين لأفضل تصميم للطاقة حيث يجب أن يكون موضع التثبيت مواجهًا للجنوب والاتجاه بزاوية ٢٠ درجة في تايوان. وفي عام ٢٠١١ بلغت نسبة الطاقة المتجددة من مبنى مستخدم نظام BIPV ٨٢٪، وبعد إنشاء جدار مزدوج وأعمال عزل الأسقف وتنظيف الألواح الكهروضوئية بشكل دوري، بلغ متوسط نسبة الطاقة الذاتية في عام ٢٠١٢ إلى ١٢٠٪ من نظام BIPV، حيث يتم تحليل البيانات الخاصة بشدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة والإضاءة الداخلية وسرعة الرياح في المناطق المحيطة وأداء الطاقة بها.

ح- تكنولوجيا وتطبيقات تكامل المباني السكنية والطاقة الشمسية، ٢٠١٣ (٢).

تمثلت مشكلة البحث في تكنولوجيا وتطبيق تكامل الطاقة الشمسية للمباني السكنية في الصين، من خلال تحليل أهمية توفير الطاقة وخاصة للطاقة الشمسية، حيث مع تحسن البناء الاقتصادي في الصين ومستويات معيشة الناس، تتزايد أيضًا أزمة الطاقة والتدهور البيئي، حيث يمثل استهلاك الطاقة في المباني السكنية هناك من ٢٥ إلى ٤٠٪ من إجمالي استهلاك الطاقة، جنبًا إلى جنب مع النقل والصناعة باعتبارهما الجوانب الرئيسية الثلاثة المستهلكة للطاقة، ويلعب بناء كفاءة استخدام الطاقة دورًا مهمًا في الاستراتيجيات الوطنية للحفاظ على الطاقة. نظرًا لأن عدد البناء الكبير للمباني السكنية الموفرة للطاقة أم لا، سيكون بلا شك أهمية عملية إيجابية لتحقيق الحفاظ على الطاقة في المباني وحماية البيئة. وتم الاستفادة من البحث بأن الطاقة الشمسية وتكنولوجيا تكامل المباني السكنية لها آفاق تطبيق واسعة، على الرغم من العديد من المشاكل، مثل درجة تكامل نظام تسخين المياه بالطاقة الشمسية في الواجهات والمباني المرتفعة، تكلفة الإنتاج العالية، ولكن مع تطبيق قانون الطاقة المتجددة والتشجيع على استخدام الطاقة المتجددة، لا بد أن تعزز حماس الناس تجاه استخدام الطاقة المتجددة، وزيادة جهود الابتكار التكنولوجي والتطوير، وجعل تقنيات الطاقة الشمسية المتكاملة للمبنى أكثر نضجًا، وجعل تكنولوجيا تكامل الطاقة الشمسية والمباني أكثر اندماجًا مع آفاق التنمية السكنية.

(1) -Kuan, S. Chan, C. Shu,c. (2013). A study of BIPV net-zero energy building. International Journal of Smart Grid and Clean Energy. July 2013.

(2)- Yi-bing xue, D. (2013). Solar Energy and Residential Building Integration Technology and Application. International Journal of Clean Coal and Energy, May,2013.

خ- الانظمة الكهروضوئية في المباني السكنية القائمة في مصر، ٢٠١١ (١).

تمثلت مشكلة البحث في دراسة الانظمة الكهروضوئية في المباني السكنية القائمة بمصر، وتصميم نظام كهروضوئي كامل لتوفير الاحمال الكهربائية في منزل عائلي قائم وفقاً لاحتياجاتهم من الطاقة. حيث في الآونة الاخيرة أصبح العالم أكثر وعياً بالبيئة والتغيرات التي تحدث في المناخ وفي الارض بشكل عام، وبدأت في إيلاء المزيد من الاهتمام لتأثير الثورة التكنولوجية والصناعية على البيئة وصحة الانسان، مما أدى إلى توجيه جميع الابحاث الجديدة نحو الطاقة المتجددة وإعادة تدوير المواد، وفي تطوير مصادر الطاقة في مصر في القرن الحادي والعشرين، ومن الضروري النظر إلى استخدام الطاقة الشمسية في جميع التطبيقات باعتبارها واحدة من أكثر مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة الواعدة. كما وجد أن توفير الكهرباء لمنزل عائلي في منطقة ريفية باستخدام الأنظمة الكهروضوئية مفيد للغاية ومنافس مع الأنواع الأخرى من مصادر الطاقة التقليدية، لا سيما بالنظر إلى انخفاض أسعار هذه الأنظمة وزيادة كفاءتها، تم تطبيق هذه المبادئ في دراسة الحالة تجديد وحدة سكن الموظفين الحالية في معهد وردان للتدريب على السكك الحديدية بمدينة ٦ أكتوبر، وحساب تكلفة دورة الحياة للبدائل المقترحة. ويهدف هذا البحث إلى التعريف بعناصر التصميم المعماري المحددة للمباني السكنية القائمة حسب العناصر البيئية المحيطة. وتمثل اهمية البحث في تقديم نموذج لمنزل عائلي يعتمد بشكل أساسي على الطاقة الشمسية لتشغيل الأجهزة الكهربائية، وتشجيع مالكي ومشغلي المباني القائمة على تنفيذ ممارسات مستدامة وتقليل الأثار البيئية لمبانيهم على مدى دورات حياتهم الوظيفية. وتمت الاستفادة من البحث في أن الطاقة المتجددة هي الحل الفعلي لمواجهة التحديات المستقبلية في متطلبات الطاقة المصرية، وخاصة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح حيث أن الأنظمة الكهروضوئية هي مصادر طاقة نظيفة ومتجددة؛ لا تسبب أي تلوث أثناء استخدامها، ومن وجهة نظر اقتصادية يعد استخدام الأنظمة الكهروضوئية في تغذية المناطق الريفية أمراً مهماً للغاية، لا سيما عندما تكون تكاليف دورة حياتها تنافسية مع الأنواع الأخرى من مصادر الطاقة التقليدية، وكفاءة الطاقة من خلال مجموعة من مبادئ التصميم لموارد الطاقة المتجددة، وتطبيق عوامل تصميم اقتصادية وبيئية ومن خلال اختيار نظام اقتصادي يستخدم خصائص البناء المحلية والطبيعية من أجل تحقيق منزل بيئي واقتصادي؛ ويجب تطبيق تكلفة دورة الحياة في جميع عمليات التصميم والتجديد.

١-٩ هيكل البحث

يتكون البحث من ٩ فصول، حيث يناقش الفصل الأول طبيعة المشكلة البحثية، ومفهوم الطاقة، واستهلاك الطاقة، وأزمات الطاقة، والتغيرات المناخية، ومصادر الطاقة المتجددة، والهدف من البحث، وأهميته والمنهج المتبع في البحث والدراسات السابقة، ويناقش الفصل الثاني الطاقة الشمسية من خلال مصدر الطاقة الشمسية، وتصنيف واستخدامات الطاقة الشمسية. ويناقش الفصل الثالث استخدام الطاقة الكهروضوئية في العمارة من خلال مكونات النظام الكهروضوئي، النظام الكهروضوئي، أسلوب عمل نظام BIPV، الاعتبارات الإنشائية والميكانيكية، الاعتبارات المناخية، الاعتبارات البيئية، الاعتبارات المعمارية، التطبيق الفعلي لنظام BIPV في العمارة. وتلك الفصول تعتبر الخلفية النظرية للدراسة، أما باقي الفصول تناقش الدراسة التطبيقية للدراسة من خلال الفصل الرابع

(1) – El-Menchawy,A. Bassioni,H. Farouk,A. (2011). Photovoltaic Systems in Existing Residential Building in Egypt. International Journal of Scientific & Engineering Research. Vol,2. Issue,7. July, 2011.

يناقش القياس العملي للكهرباء الناتجة من الألواح الكهروضوئية من خلال تجربة قياس الكهرباء الناتجة من الألواح. ويناقش الفصل الخامس المحددات التصميمية من خلال ارتفاع الواجهة كمحدد تصميمي، ونسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة، عدد الوحدات في الدور السكني. ويناقش الفصل السادس المحددات التعبيرية من خلال ألوان الألواح، وظل بروزات الواجهة، وظل كتلة المبنى. ويناقش الفصل السابع محددات الموقع العام من خلال ظل المبنى على الأرض. ويناقش الفصل الثامن المحددات الاقتصادية من خلال الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام النظام. ويختتم البحث بالفصل التاسع الذي يعرض النتائج والتوصيات التي تم التوصل إليها، وأخيراً المراجع والمصادر.

الفصل الثاني

الطاقة الشمسية

تنبّه الإنسان في العصر الحديث إلى إمكانية الاستفادة من أشعة الشمس التي تتصف بأنها طاقة متجددة ودائمة لا تنضب، مما يجعل الطاقة الشمسية الخيار الأفضل من بدائل الطاقة المتجددة، فمع شروق الشمس تستمر الحياة، وتوجد طاقة نظيفة مستدامة حتى نهاية الكون، وتتمثل أهمية هذه الطاقة في استخداماتها العديدة سواء في قدرتها الحرارية، أو في قدرة الضوء على توليد تيار من الإلكترونات عند تعريضه لبعض المركبات البلورية. ويناقش هذا الفصل مفهوم الطاقة الشمسية، وتطور استخدامها سواء عالمياً أو محلياً.

٢-١ مصدر الطاقة الشمسية

تمثل الشمس النجم المركزي للنظام الشمسي، ويبلغ عمرها حوالي ٤,٥ مليار عام ومن المتوقع انتهاء عمرها بعد ٥,٥ مليار عام من الآن^(١)، وتتكون من كتلة متوهجة من الهيدروجين والهيليوم وبعض من الغازات الأخرى بنسب ضئيلة^(٢)، وتبعد الشمس عن الأرض حوالي ١٥٠ مليون كم، ويبلغ قطرها نحو ١,٣٩٢ مليون كم، بما يعادل نحو ١٠٩ ضعف قطر الأرض^(٣). وتتكون الشمس من مجموعة من الطبقات، أولها النواة الشمسية، وتتم فيها العمليات النووية الاندماجية التي تنتج الطاقة، حيث تتحول كميات كبيرة من كتلة الشمس إلى طاقة بواسطة هذا التفاعل، وتبلغ درجة حرارة النواة ١٤ مليون درجة مئوية، ثم منطقة الإشعاع، وهو الغلاف المحيط بالنواة، وتنتقل خلالها الطاقة بواسطة حركة عنيفة للغازات الحرة، ثم منطقة الفوتوسفير أي السطح المضيء، وهي الطبقة الخارجية للشمس وتبلغ درجة حرارتها حوالي ٦٠٠٠ °، وهو الجزء المرئي لنا من الشمس، وتغلف بيئة الشمس الهالة التي تمتد إلى ما يزيد عن ١٠٠ ألف كم^(٤)، كما يتضح بالشكل (٢-١). ومصدر الطاقة الناتجة عن الشمس هو التفاعل النووي الاندماجي المستمر داخل النواة، وتدفع الطاقة المتولدة من نواة الشمس إلى الطبقات الخارجية، بما تحويه من حرارة وموجات ضوئية وإشعاعات أخرى^(٥)، ويبلغ إجمالي الطاقة الخارجة من الشمس ٤٠٠ يوتا جول (١٠^{٢٤} جول)^(٦)، وتنتشر هذه الطاقة عبر الفضاء في جميع الاتجاهات. يتعرض الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى سطح الأرض إلى انعكاسات وتشتت وامتصاص بواسطة الغلاف الجوي للأرض، بنسب مختلفة حسب ما هو موضح بالشكل (٢-٢)، ولا يصل إلى سطح الأرض من إجمالي الإشعاع الشمسي^(٧) سوى ٤ يوتا جول، وتعد الطاقة الشمسية الواسلة لسطح الأرض، بما تحويه من طاقة حرارية وضوئية، من أهم مصادر الطاقة للحضارة البشرية، فهي المصدر الرئيسي للضوء والحرارة، وهي مصدر كل الطاقات الأخرى^(٨)، حيث يعتمد عليها التمثيل الضوئي لكل الكائنات النباتية، التي تعد المصدر الرئيسي لكل أنواع الوقود الأحفوري.

(1) – Nasa Science, How Old Is the Sun? 25 May 2021.

<https://spaceplace.nasa.gov/sun-age/en/>. at 16-4-2023. at 12:30 pm.

(2) – Lodders, K. Solar System Abundances and Condensation Temperatures of the Elements. The Astrophysical Journal. 591 (2): 1220-1247. 10 July 2003.

(٣) – كاميليا محمد. الطاقة الكهروشمسية. مراجعة محمد السبكي، دار الكتب والوثائق القومية، القاهرة. ٢٠١٦. ص ٢٨.

(٤) – محمد الخطيب. دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة والتشكيل المعماري للمباني السكنية في قطاع غزة. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الهندسة، الجامعة الإسلامية، غزة، ٢٠١٥.

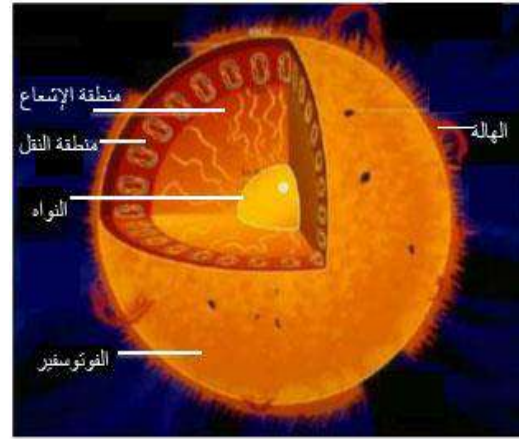
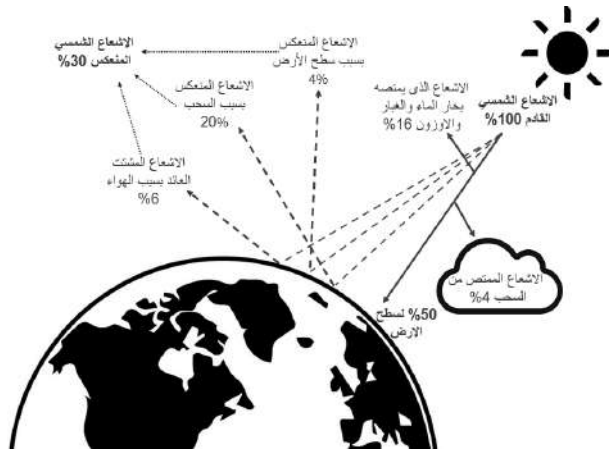
(٥) – كاميليا محمد. المرجع السابق.

(6) – International Bureau of Weights and Measures. The International System of Units (SI) (PDF) (8th ed.), p. 120, 2006.

https://www.bipm.org/documents/20126/41483022/si_brochure_8.pdf . at 19-4-2023. at 3:35pm.

(7) – Chen, J. Ibid.

(٨) – محمد محفوظ. محمد بن يسلم. الإشعاع الشمسي. مجلة العلوم والتقنية، ١٩٩٦. العدد ٣٤.

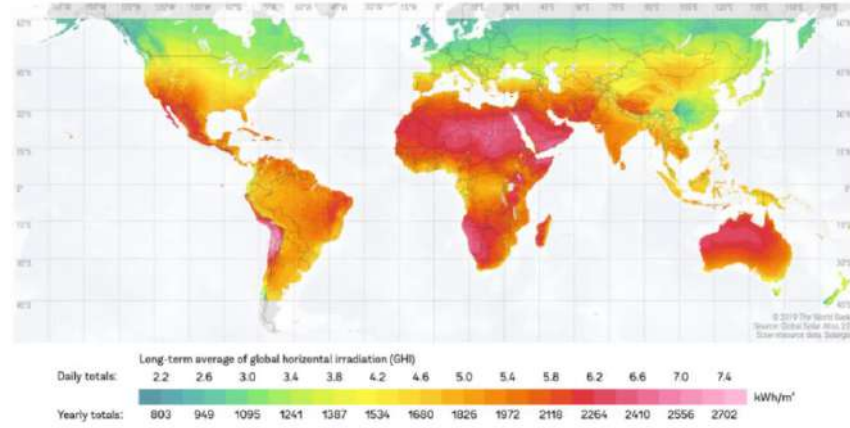


شكل (٢-١) طبقات الشمس
المصدر:

<https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/objects/sun1.html>

شكل (٢-٢) الإشعاع الكلي الواصل إلى الأرض
المصدر: الباحث

وتتوزع الطاقة الشمسية على سطح الأرض حسب قربها من خط الاستواء، وهذا الخط هو المنطقة التي تحظى بأكبر نصيب من تلك الطاقة، وبالتالي تتوافر الطاقة الشمسية في كل أرجاء العالم بمعدلات مختلفة، وتتراوح الأشعة العرضية العالمية من ٨٠٠ إلى ٢٧٠٠ ك.و.س/م^٢ كما يتضح بالشكل (٢-٣)، وبالتالي يعتمد نجاح استخدام الطاقة الشمسية على الموقع الجغرافي، ومن حسن الطالع وقوع مصر ومعظم الدول العربية ضمن نطاق جغرافي يعد من النطاقات الأعلى على مستوى العالم في معدلات الإشعاع الشمسي على مدار العام، حيث يصلها من ٥,٤ إلى ٦,٩ ك.و.س/م^٢ (١)، كما يتضح بالشكل (٢-٤)، ويتراوح متوسط السطوع الشمسي اليومي من ٧ إلى ١٠ ساعات على مدار السنة (٢)، وفي مصر يتراوح متوسط الإشعاع الشمسي العمودي المباشر بين ٥,٦ إلى ٦,٨ ك.و.س/م^٢، وتتراوح الأشعة العرضية من ٢٠٤٥ إلى ٢٤٨٣ ك.و.س/م^٢، ويتراوح متوسط السطوع الشمسي اليومي من ٩ إلى ١١ ساعة (٣)، وقد أظهرت بعض الدراسات أن استغلال مساحة تبلغ ١٠ كم^٢ لإنتاج الطاقة بمنطقة الصحراء الغربية تعادل الطاقة المتولدة من إنتاج نحو ١٥ مليون برميل بترول سنوياً، لما تتسم به المنطقة من ارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي (٤)، كما يتضح بالشكل (٢-٥).



شكل (٢-٣)
معدل الإشعاع الشمسي
ك.و.س/م^٢ على مستوى العالم
المصدر:
<https://globalsolaratlas.info/download/world>

(1) – The World Bank. Solar Photovoltaic Power Potential by Country. at 23–7–2020.

<https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/solar-photovoltaic-power-potential-by-country> . at 14–5–2023.
at 8:00 pm.

(٢) – ماجد أبو النجا الشرقاوي. المرجع السابق.

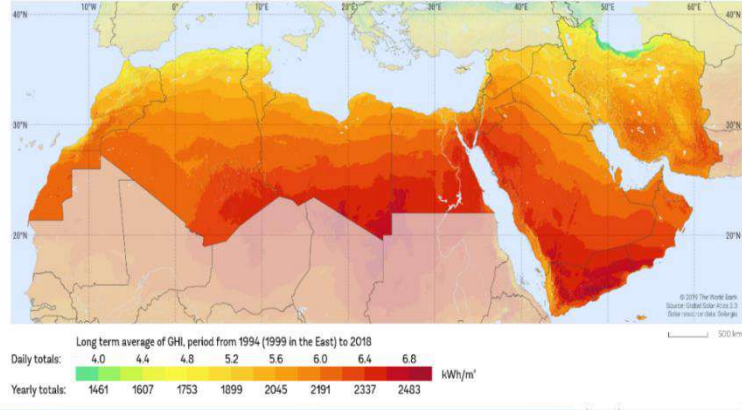
(3) – GEO-CRADLE project. The Solar Atlas of Egypt. 2018.

<http://www.nrea.gov.eg/Content/files/SOLAR%20ATLAS%202018%20digital1.pdf> . at 19–4–2023. at 3:30 pm.

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

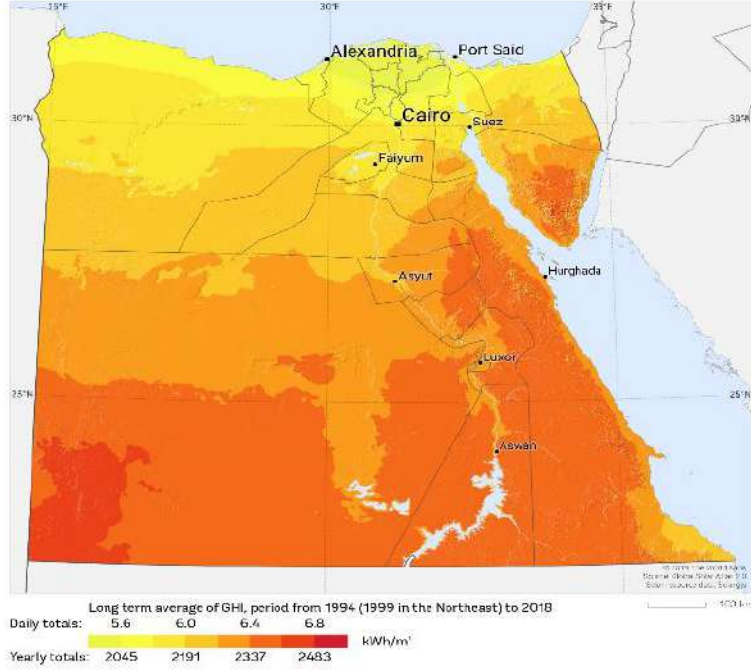
شكل (٢-٤)
معدل الإشعاع الشمسي
ك.و.س/م^٢ في الشرق الأوسط
وشمال أفريقيا
المصدر:

<https://globalsolaratlas.info/download/middle-east-and-north-africa>



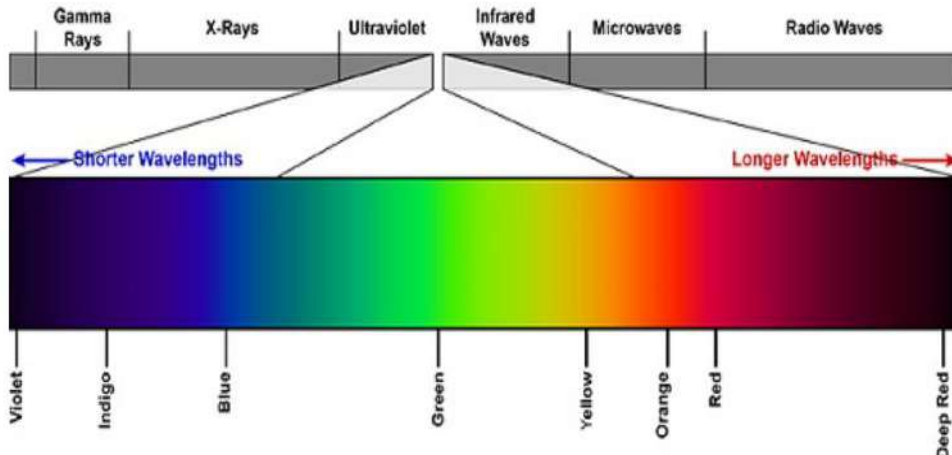
شكل (٢-٥)
معدل الإشعاع الشمسي
ك.و.س/م^٢ في مصر
المصدر:

<https://globalsolaratlas.info/download/egypt>



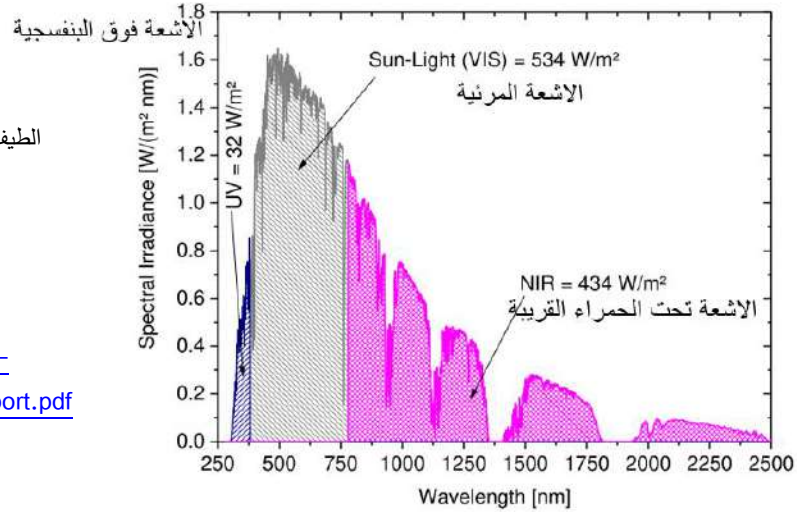
٢-٢ تصنيف واستخدامات الطاقة الشمسية

يتكون الشعاع الشمسي الواصل إلى سطح الأرض من العديد من المكونات الإشعاعية، وأن أهمها هو الضوء المرئي المركب من ألوان الطيف السبعة، والمكونان الأخران هما الأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء كما يتضح بالشكلين (٢-٦) و(٢-٧)، وتتنوع استخدامات مكونات الشعاع الشمسي بالتفصيل كما يلي: -



شكل (٢-٦) مكونات الشعاع الشمسي

المصدر: <https://www.solarquotes.com.au/blog/uv-solar-panels>



شكل (٧-٢)

الطيف الشمسي والثلاث مناطق المختلفة للطيف

الأشعة فوق البنفسجية والأشعة المرئية

والأشعة تحت الحمراء

المصدر:

[https://iea-pvps.org/wp-](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf)

[content/uploads/2020/01/IEA-](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf)

[PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf](https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf)

١-٢-٢ الأشعة تحت الحمراء

هي أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية لها تأثير حراري واضح، يتراوح طولها الموجي بين ٧٠٠ نانومتر إلى ١ ميليمتر، ويتراوح ترددها من ٣٠٠ جيجا هرتز إلى ٤٣٠ تيرا هرتز، ويعتبر طولها الموجي أطول من الطول الموجي للضوء المرئي، وترددها أقل من الضوء المرئي، ويمكن الشعور بها من خلال الإحساس بحرارتها^(١)، وهي المسؤولة عن تحديد شكل المناخ على سطح كوكب الأرض، ويتمثل الاستخدام الرئيسي لها في كونها مصدر للطاقة الحرارية، ويمكن استخدامها بشكل بسيط من خلال عمليات التسخين والتدفئة والتجفيف^(٢)، وقد بدأ الإنسان استخدام الأشعة تحت الحمراء كمصدر حراري منذ بداية ظهور المستقرات البشرية البدائية، ثم تطور استخدامها في العصر البابلي، حيث استخدمت السطوح المصقولة كالمرايا لتركيز الإشعاع الشمسي للحصول على النار^(٣). واستخدم الإغريق نفس الفكرة في إيقاد الشعلة الأولمبية في عام ٧٧٦ ق.م، وما زالت الشعلة تقاد حتى الآن بتلك الطريقة^(٤). كما دعا كل من سقراط وأرسطو إلى تصميم منازل تستفيد من حرارة الشمس في فصل الشتاء، وتوصل "أرشميدس" في عام ٢١٢ ق.م لفكرة استخدام المرايا المقعرة، لتركيز شعاع الشمس، وبالتالي حرق السفن الرومانية التي كانت تحاصر مدينة "سيراكيوز" آنذاك^(٥)، كما يتضح بالشكل (٨-٢). وشاع استخدام المرايا لإشعال النيران للأغراض الدينية في القرن الثالث الميلادي في الحضارات الرومانية والفارسية والصينية^(٦). وأشار "فيتروفيوس" لضرورة استخدام الشمس لتدفئة المباني والحمامات، وكانت نوافذ الحمامات الرومانية مغطاة بزجاج شفاف يواجه الجنوب، واكتشف الرومان أن الزجاج يستطيع تمرير الأشعة تحت الحمراء من خلاله والحفاظ عليها داخل الفراغات المغلقة، وكانت الغرفة ذات النوافذ الزجاجية تسمى "Heliocaminus" والتي يمكن أن تُترجم إلى "الفرن الشمسي"^(٨).

(1) – Rogalski, Antoni. Infrared and terahertz detectors (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. p. 929, 2019.

(٢) – عبد الله حسين. اقتصاديات الطاقة في مصر. اكااديمية البحث العلمي والتكنولوجيا، مجلس بحوث العلوم الاقتصادية، القاهرة، ١٩٩٢ م. ص ١٣٦.

(٣) – سيدة أبو زيد، وآخرون. تاريخ استخدام الطاقة الشمسية في العالم وفي مصر بصفة خاصة: دراسة تاريخية على مجالات الطاقة المتجددة. مجلة معهد الدراسات والبحوث البيئية، جامعة السادات. ٢٠١٩. ص ٥٣٢-٥٤٧.

(4) – The Atlanta Committee for the Olympic Games, The Washington Post. History Of Olympic Torch Relays.

<https://www.washingtonpost.com/wp-srv/sports/olympics/longterm/torches/history.htm>. at 3-7-2022, at 1:00 Am.

(٥) – سيدة أبو زيد. المرجع السابق.

(6) – Foltz, Richard. Religions of Iran: From Prehistory to the Present, London: One world publication. 2013. pp. 10-18.

(7) – Richardson, L. The History of Solar Energy. at 3-5-2022.

<https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>. at 3-7-2022, at 1:30 Am.

(8) – Hicks, B. The History of Sunrooms. at 24-12-2018.

<https://sunshinesunrooms.com/the-history-of-sunrooms/>. at 3-7-2022, at 2:00 Am.

وبحلول القرن السادس الميلادي شاع استخدام الزجاج في المنازل والمباني العامة حتى أن الإمبراطور "جستيان" أصدر مرسوماً باعتبار أن الشمس حق لكل مواطن روماني^(١).



شكل (٢-٨)

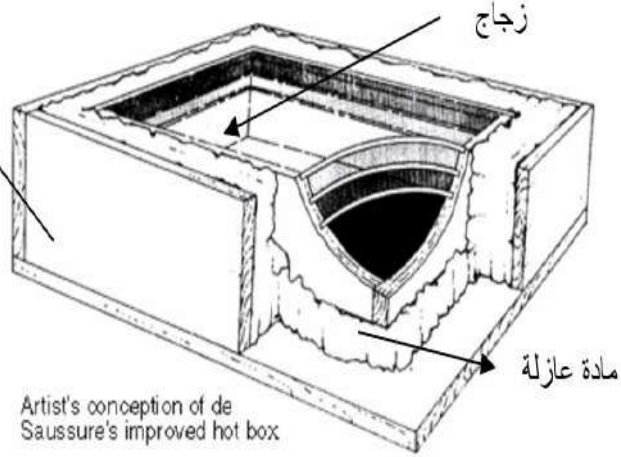
تصور لفكرة حرق السفن الرومانية من خلال تركيز أشعة الشمس
المصدر:

<https://www.hellenicaworld.com/Greece/Science/en/Mirrors.html>

ويمكن استخدام الأشعة تحت الحمراء كمصدر لتوليد الطاقة من خلال طريقتين، كما يلي: -

٢-٢-١-١ الإشعاع الحراري المباشر: وفيها يتم الاستفادة من الخصائص الحرارية للأشعة تحت الحمراء بشعاع الشمس بشكل مباشر، وقد تمكن السويسري "هورش دي سوسير" في عام ١٧٦٧ من وضع أول تقنية فعلية لجمع الطاقة الشمسية داخل فرن شمسي، من خلال صندوق خشبي له وجه زجاجي يسمح بمرور الأشعة تحت الحمراء، وجوانب الصندوق مبطن بمادة عازلة للحفاظ على الحرارة المكتسبة بداخله^(٢)، كما يتضح بالشكل (٢-٩). وفي عام ١٨٩١م تم اختراع أول سخان مياه تجاري، من خلال سطح مستوي من الزجاج الأسود (مجمع حراري) يقوم بامتصاص الأشعة تحت الحمراء، ويوجد أسفله شبكة من المواسير يمر بها ماء، ومن خلال سخونة سطح الزجاج المستوى يتم تسخين الماء، ويستفاد من هذه التقنية في تسخين المياه وتدفئة أحواض السباحة^(٣)، كما يتضح بالشكل (٢-١٠).

صندوق خارجي
من الخشب



شكل (٢-٩)

الفرن الشمسي للسويسري "هورش دي سوسير"
المصدر:

<http://solarcooking.org/saussure.htm>

(1) - Oliver J. Thatcher, ed., The Library of Original Sources, vol. 3: The Roman World Milwaukee: University Research Extension Co. 1907. 100, 103-9.

(2) - The Solar Cooking Archive. Horace de Saussure and his Hot Boxes of the 1700's.

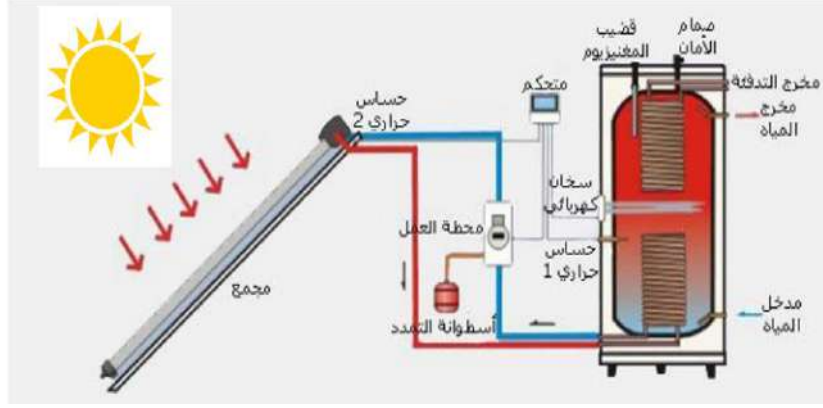
<http://solarcooking.org/saussure.htm>. at 3-7-2022, at 2:30 Am.

(٣) - صلاح الدين إيهاب. الطاقة وتحديات المستقبل. المكتبة الأكاديمية، الطبعة الأولى، ١٩٩٥.

تعد الأردن الدولة الأولى في منطقة الشرق الأوسط في تفعيل استخدام وتصنيع وتطوير سخانات الشمسية، وتصل نسبة استخدامها إلى ٤٠٪ من مجموع الوحدات السكنية، حيث يتم تركيب ما يقارب ١٥ ألف سخان سنوياً طبقاً للإحصاءات الرسمية، بالإضافة إلى استخدامها في المستشفيات والمدارس والفنادق وتدفئة أحواض السباحة. المجلس الأردني للأبنية الخضراء. تطوير معيار استهلاك الطاقة للشقق السكنية في عمان. ٢٠١٩.

<https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/15927.pdf>

شكل (٢-١٠)
تسخين المياه بالطاقة الشمسية
المصدر: www.cadnet.cz



وفي منتصف القرن العشرين قام المعماري "فرانك بريدجر" بتصميم أول مبنى إداري في العالم يستخدم الطاقة الشمسية في تسخين المياه، وهو مبنى "بريدجر باكستون" بمدينة "البوكيرك" بولاية "نيو مكسيكو"، وتبلغ مساحة المبنى ٢٥٣٠ م^٢، وذلك من خلال نظام يستخدم الأشعة تحت الحمراء بالشعاع الشمسي لتدفئة الفراغات الداخلية، ويغطي هذا النظام مساحة ١٥٢٤ م^٢(١)، ويتكون النظام من ألواح زجاجية (مجمعات حرارية)، مثبتة على جدار جنوبي أعلى كتلة المبنى بمساحة ٢٢٩ م^٢، وأسفل الألواح الزجاجية صفائح ألومنيوم مطلية باللون الأسود، ومدعومة بأنابيب نحاسية لقدرتها على التوصيل الحراري السريع، ويمر خلال تلك الأنابيب ماء يتم تسخينه من خلال الحرارة المنقولة من المجمعات الحرارية(٢)، والمبنى مدرج الآن في السجل التاريخي الوطني للولاية، كما يتضح بالشكل (٢-١١). وبالتالي ارتبطت الطاقة الشمسية الحرارية بمجال العمارة بشكل أساسي من خلال السخانات الشمسية، ويتم تثبيت المجمعات الحرارية على أسطح المبنى سواء كانت هذه الأسطح مستوية أو مائلة(٣)، كما يمكن دمج المجمعات الحرارية مع واجهات المبنى أو درابزين الشرفات(٤)، كما يتضح بالشكل (٢-١٢).



ب- مبنى بريدجر باكستون عام ٢٠١٥



أ- مبنى بريدجر باكستون عام ١٩٥٦

شكل (٢-١١) مبنى بريدجر باكستون

المصدر:

<https://www.historicabq.org/1956-solar-heated-building.html> at 12-3-2022. 3:00 pm

- (1) – Earth Alert. "Solar Building," ca. 1974, at 24-10-2022.
http://www.earthalert.org/B_P%20Solar%20Building%20Brochures.pdf.
- (2) – Sawyer, S. Albuquerque Modernism, Solar Building. at 6-5-2023.
<http://albuquerquemodernism.unm.edu/wp/solar-building/>.
- (3) – Wang, Y. "Design of solar Residential Building Integration," Journal of Building Energy Efficiency, Vol. 38, No. 1, 2010, pp.53-55.
- (4) – Ma, D, Xue, Y. Solar Energy and Residential Building Integration Technology and Application. International Journal of Clean Coal and Energy, 2013. 2, 8-12.

شكل (٢-١٢)

أساليب تثبيت المجمعات الحرارية في المباني

المصدر:

Wang, Y. "Design of solar Residential Building Integration,"



ب- مجمعات حرارية مع درابزين الشرفات



أ- مجمعات حرارية مع السقف

أما على المستوى المحلي فكانت البداية الفعلية لاستخدام الطاقة الشمسية في مصر في سبعينات القرن العشرين عندما تبرع الرئيس السادات بقيمة جائزة نوبل لإعادة بناء قرية ميت أبو الكوم بمحافظة المنوفية، وتم استخدام السخانات الشمسية بمنزل القرية^(١)، كما يتضح بالشكل (٢-١٣).

شكل (٢-١٣)

إعادة تعمير قرية ميت أبو الكوم،

المنوفية، عام ١٩٧٩

المصدر:

http://sadat.bibalex.org/Historic_Documents/Historic_Docs_All.aspx?TabName=Photo&PageIndex=1&page=57&albumId=830&photopage=2#Gallery



٢-١-٢-٢ تشغيل المراجل البخارية من خلال الإشعاع الحراري: وفيها يتم تركيز أشعة الشمس على مجمع حراري بواسطة مرايا مقعرة، ويتكون المجمع من عدد من الأنابيب تحتوي على ماء، وتقوم حرارة الشمس المركزة بتحويل الماء إلى بخار، ويستخدم البخار لإدارة التوربينات لإنتاج الكهرباء، كبديل عن الوقود التقليدي، نشأت الفكرة عام ١٨٦١ عندما استطاع الفرنسي "أوجستين موشوت" اختراع المحرك البخاري المعتمد على الطاقة الشمسية، وذلك من خلال استخدام مرآة مقعرة على هيئة قطع مكافئ لتركيز الشعاع الشمسي على مرجل نحاسي، وتم عرض الجهاز في معرض باريس الدولي عام ١٨٧٨^(٢)، كما يتضح بالشكل (٢-١٤). وفي عام ١٩٦٦م تم إنشاء المرجل الشمسي الأكبر في العالم في مدينة "أوديلو" بإقليم البرانس جنوب فرنسا، ويستخدم المرجل مرآة عاكسة على هيئة قطع مكافئ، ارتفاعها ٥٤ م وعرضها ٤٨ م، وتتكون من ٩٦٠٠ مرآة، وتقوم بتركيز الشعاع الشمسي عند برج مركزي، يضم مرجل بخاري، يستطيع توليد طاقة تصل إلى واحد ميغا وات^(٣)، كما يتضح بالشكل (٢-١٥).

(١) - جريدة الأهرام. السادات يحول قيمة جائزة نوبل لإعادة تعمير قرية ميت أبو الكوم. ١٩٧٨-١٢-١٤.

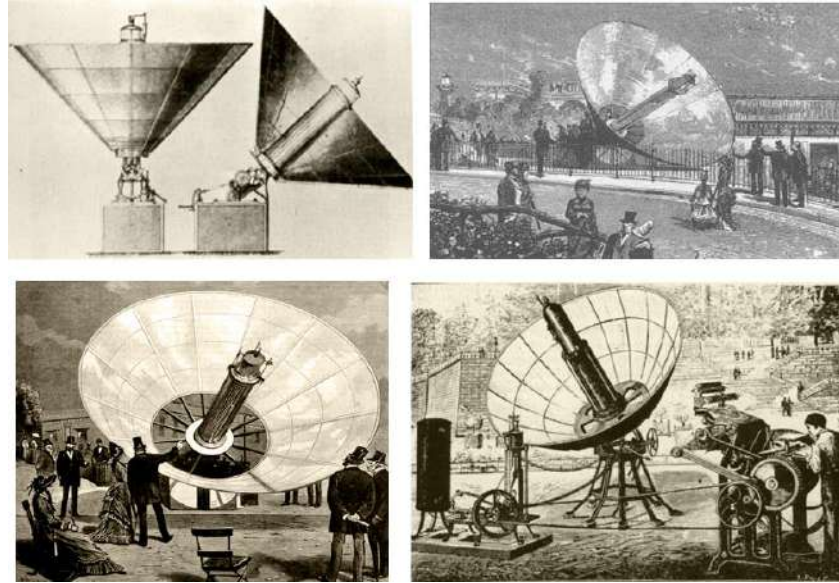
https://anwarsadat.org/site/project_img/pdf/16777.pdf. at 6-5-2023.

(2) - Pifre, A. Ericsson, J. Land Art Generator, Solar Power. The 19th CENTURY SOLAR ENGINES OF AUGUSTIN MOUCHOT. at 29-2-2012.

<https://landartgenerator.org/blagi/archives/2004>. at 3-7-2022, at 12:15 Pm.

(3) - Atlas Obscura. Odeillo solar furnace.

<https://www.atlasobscura.com/places/odeillo-solar-furnace>. at 3-7-2022, at 3:00 Pm.



شكل (٢-١٤)

محرك "أوجستين موشوت"

المصدر:

<https://landartgenerator.org/blagi/archives/2004>



شكل (٢-١٥)

مرجل "أوديلو" بجنوب فرنسا

المصدر:

<https://www.atlasobscura.com/places/odeillo-solar-furnace>

وفي عام ١٩٨٦ تم بناء أكبر محطة للطاقة الشمسية الحرارية في العالم، وتقع بمنطقة "كرامر" في ولاية كاليفورنيا، ويعتمد تشغيل المحطة على صفوف من المرايا المقعرة، التي تعمل على تركيز أشعة الشمس على أنابيب للمياه في بؤرة المرآة، كما يتضح بالشكل (٢-١٦). وتتوقع اللجنة الدولية للطاقة أنه بحلول عام ٢٠٢٥ سوف تسهم المحطات الشمسية الحرارية بتوليد حوالي ١٣٠ جيجا وات في السنة^(١).



شكل (٢-١٦)

محطة "كرامر" للطاقة الشمسية الحرارية

المصدر:

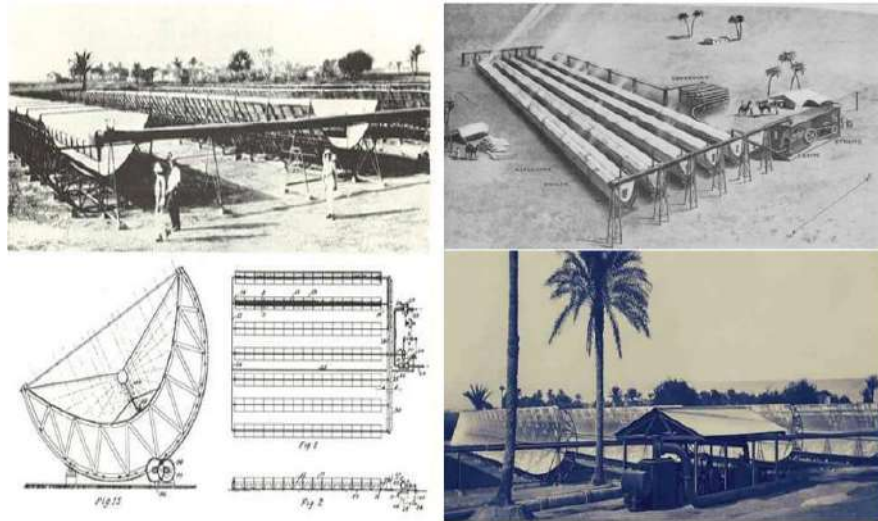
<https://clui.org/ludb/site/kramer-junction-solar-electric-generating-station>

(١) - اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا إسكوا. "إمكانات وأفاق توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة في دول الإسكوا: الجزء الثاني، النظم الشمسية الحرارية"، الأمم المتحدة، ٢٠٠١.

وكان أول استخدام للطاقة الشمسية الحرارية على المستوى المحلي عام ١٩١٢، من خلال محطة تجريبية تابعه لقوات الاحتلال البريطاني بحى المعادي، وتحديداً في ٦ شارع ١٠١ بمنطقة ثكنات المعادي (١)، وقد أنشأها الأمريكي "فرانك شومان"، وتحتوي المحطة على سبعة خطوط من المجمعات الشمسية، كل مجمع عبارة عن مرآة مقعرة على هيئة قطع مكافئ طولها ٦٢ م، وعرضها ٤ م، وبين كل مجمع وآخر مسافة ٧ م، كما يتضح بالشكل (٢-١٧)، ويمكن تحريك هذه المرايا لتتبع حركة الشمس، ويوجد في بؤرة كل مرآة مواسير نحاسية بها مياه. واستخدمت المحطة محرك بقوة ٧٠ حصاناً، لضخ ٦٠٠٠ جالون في الدقيقة من مياه نهر النيل، واستمر تشغيل المحطة لفترة تناهز العام، إلا أن اندلاع الحرب العالمية الأولى واكتشاف النفط الرخيص في الخليج العربي قلل من أهمية المحطة، مما دفع بالفكرة للنسيان، وتم تفكيك المحطة (٢). ومن بداية الألفية الثالثة اعتمدت إستراتيجية وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة في عام ٢٠١٢ على توليد نحو ٢٨٠٠ ميجاوات من الطاقة الشمسية الحرارية، ومن أهم المحطات المحلية محطة الكريما بالجزيرة حيث تم تشغيل المحطة تجارياً في عام ٢٠١١، وبلغ إنتاجها ١٤٠ ميجاوات من الكهرباء، كما يتضح بالشكل (٢-١٨).

شكل (٢-١٧)
محطة المعادي
المصدر:

<https://renewablebook.wordpress.com/chapter-excerpts/350-2>



شكل (٢-١٨)
محطة الكريما بالجزيرة
المصدر:

<https://egy-map.com/project/>



(١) - سيدة أبو زيد. المرجع السابق.

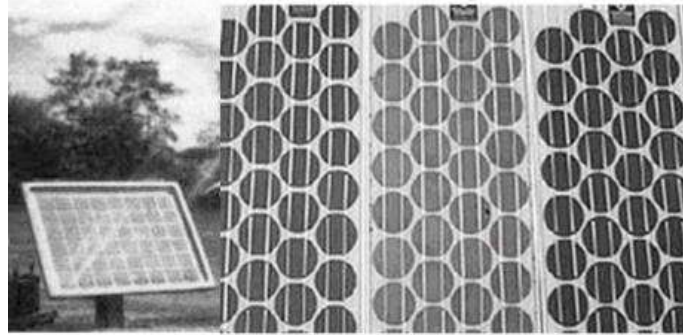
(2)- Smith, Zachary Alden; Taylor, Katrina D. Renewable and alternative energy resources: a reference handbook. ABC-CLIO. 2008. p. 174.

٢-٢-٢ الأشعة فوق البنفسجية

تعرف بالأشعة السوداء، وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية غير مرئية، يتراوح طولها الموجي من ١٠ إلى ٤٠٠ نانومتر، ويتراوح ترددها من $١٠ \times ٧,٥$ إلى ١٠×٣ هيرتز، وطولها الموجي أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي، وتتبعث من الشمس عن طريق النقص الكهربائي، وهي أشعة مؤينة بدرجة كبيرة، وقد اكتشف "هاينريش هيرتز" عام ١٨٨٧ بأنه عند تعريض الأشعة فوق البنفسجية لسطح مادة موصلة يتولد الشرر الكهربائي بسهولة، وتستخدم تلك الأشعة بصفة أساسية في عمليات التعقيم، إلا أن لها أضرار عديدة على الكائنات الحية، ويستخدم جزء ضئيل منها في تحويل ضوء الشمس إلى كهرباء من خلال الألواح الشمسية^(١)، كما سنتعرض لذلك لاحقاً.

٣-٢-٢ الأشعة المرئية

تعرف بالضوء المرئي، وهو إشعاع كهرومغناطيسي يمكن للعين البشرية إدراكه، يتراوح طوله الموجي من ٣٨٠ إلى ٧٥٠ نانومتر، ويقع هذا الطول الموجي ما بين الأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية، ويتراوح تردد الضوء المرئي من ٤٠٠ إلى ٧٠٠ تيرا هيرتز^(٢). وقد أمكن توليد تيار كهربائي من شعاع الضوء المرئي بعد اكتشاف "بيكورييل" لظاهرة التأثير الضوئي عام ١٨٣٩، عندما لاحظ انبعاث إلكترونات من بلورات بعض المركبات عند تسليط الضوء عليها، واعتمدت تجربته على قياس التيار الكهربائي الناتج من تسليط الضوء على كلوريد الفضة في وسط حامضي، ويعرف هذا التأثير بظاهرة "بيكورييل". وفي عامي ١٨٧٣ و ١٨٧٦ اكتشف كل من "يلوغبي سميث" و"وليام آدمز" و"ريتشارد إيفانز" أنه عند تعرض عنصر السيلينيوم للضوء ينبعث منه تيار مستمر من الإلكترونات، وفي عام ١٨٨٣ تمكن الأمريكي "تشارلز فريتز" من صنع خلية كهربائية من رقائق السيلينيوم المغلفة بطبقة رقيقة من الذهب^(٣)، كما يتضح بالشكل (١٩-٢).



شكل (١٩-٢)

الخلايا الشمسية المصنوعة من رقائق السيلينيوم
المصدر: كاميليا محمد

وفي عام ١٩٠٤ وضع "وليام بابلي" أول نموذج للخلية الشمسية، وفي عام ١٩١٨ استخدم البولندي "جان كيزوشرالزكي" بلورات السيليكون في الخلايا الشمسية، وفي عام ١٩٢١ فسّر أينشتاين الظاهرة الكهروضوئية^(٤) على أساس أن طاقة فوتونات بعض الأطوال الموجية للضوء تعمل على انتقال إلكترونات بعض العناصر من مداراتها في ظروف معينة^(٥)،

(1) – Haigh, Joanna D. "The Sun and the Earth's Climate: Absorption of solar spectral radiation by the atmosphere". Living Reviews in Solar Physics. 4 (2): 2. Bibcode:2007LRSP....4....2H. doi:10.12942/lrsp-2007-2 .

(2) – Nasa Science. Living in the Atmosphere of the Sun.

https://sunearthday.nasa.gov/2007/locations/ttt_sunlight.php. at 15-4-2023, at 11:30 pm.

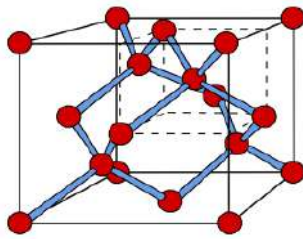
(٣) – كاميليا محمد. المرجع السابق.

(4) – The Official Web site of The Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics.

https://web.archive.org/web/20180617170415/https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1921/index.html. at 3-7-2022, at 12:55 Pm.

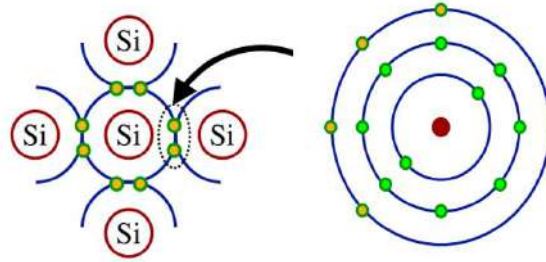
(5) – Zhang, Q. "Intensity dependence of the photoelectric effect induced by a circularly polarized laser beam", Physics Letters. 1996. pp 215, 216.

كما يتضح بالأشكال من (٢-٢٠) إلى (٢-٢٢)^(١). وبالتالي تعتمد طبيعة عمل الخلايا الشمسية أو ما يعرف باسم "الكهروضوئية أو الفوتوفولتية" Photo Voltic على تحويل إشعاع الضوء المرئي إلى تيار كهربائي مستمر، ويتم توصيل الخلايا ببعضها البعض إما على التوالي أو التوازي، ويكون هذا التوصيل في صورة الألواح الشمسية ويتم تجميع تلك الألواح بما يعرف باسم المصفوفة الكهروضوئية^(٢)، كما يتضح بالشكل (٢-٢٣). وتعتمد شدة التيار الكهربائي الناتج من الخلية الكهروضوئية على مستوى السطوح الشمسي أي مستوى الإضاءة وساعات السطوح وكفاءة الخلية نفسها، إلا أنه يعيبه احتياجه إلى صيانة مستمرة، ومساحات كبيرة من الأراضي، كما يمكن أيضاً تخزين الطاقة الزائدة باستخدام البطاريات لاستخدامها ليلًا^(٣)، وقد تكون التركيبات الكهروضوئية مثبتة على الأرض أو على السطح أو مثبتة على الحائط، وقد يكون الحامل ثابتاً، أو يستخدم متعقباً شمسياً. وبالتالي يعتبر أهم ما يميز الخلايا الكهروضوئية إنها تولد الكهرباء مباشرة من المصدر الرئيسي وهو الضوء المرئي.



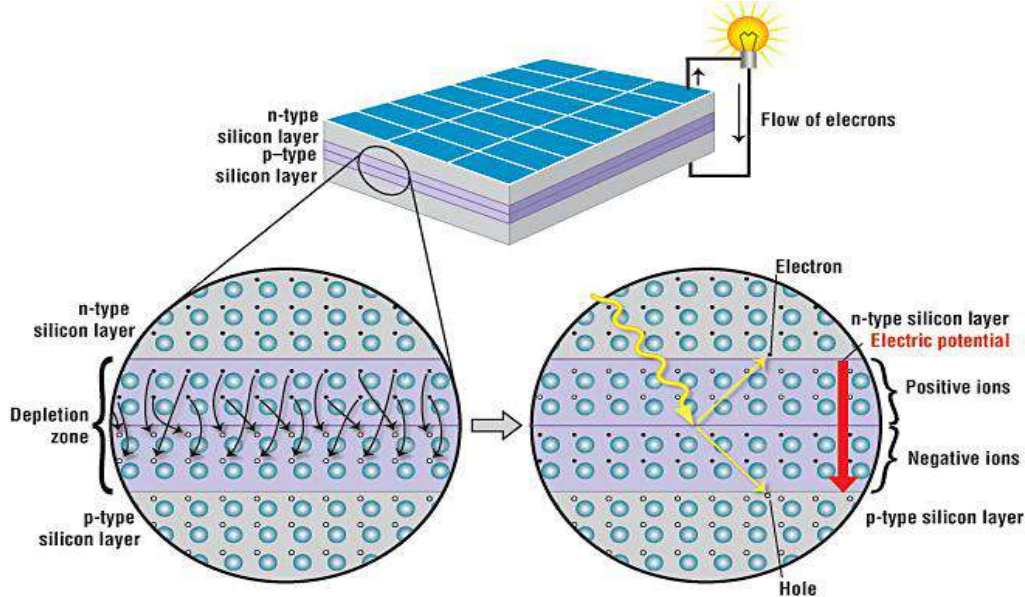
شكل (٢-٢١) التركيب البلوري للسيليكون

المصدر: <https://ptable.com/#Properties>



شكل (٢-٢٠) التركيب الذري البلوري للسيليكون، واتحادها مع الذرات المجاورة لتكوين بلورة السيليكون

المصدر: <https://ptable.com/#Properties>



شكل (٢-٢٢) الخلية الشمسية وطبقات السيليكون P و N

المصدر:

<https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2013-2014/how-a-solar-cell-works.html>

(1) – The Renewable Energy Hub. What is Silicon Solar Cells. 21-4-2023.

<https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/silicon-solar-cells>. at 20-5-2023. at 2:30 pm.

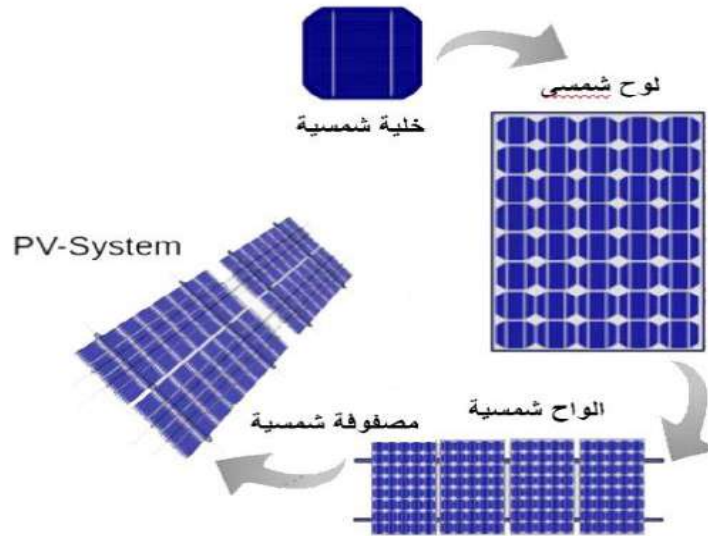
(2) – Photonics Dictionary. Photovoltaic cell.

https://www.photonics.com/EDU/photovoltaic_cell/d6199. at 3-7-2022, at 12:45 Pm.

(3) – Thomas, R., Fordham, M. & Partners (eds). Photovoltaics and Architecture, London: Spon Press. 2001.

شكل (٢-٢٣)
مكونات النظام الشمسي
المصدر:

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



٢-٢-٣-١ تطور استخدام الطاقة الكهروضوئية

تطورت التقنية الكهروضوئية بوتيرة سريعة، ففي عام ١٩٣٢ اكتشفا "أودبرت وستورا" إمكانية استخدام بلورات كبريتات الكاديوم في الخلايا الكهروضوئية، وفي عام ١٩٥٣ تمكن "دان تريفتش" من إجراء الحسابات النظرية لكفاءة بلورات المواد المستخدمة في الخلايا الكهروضوئية بناءً على الطول الموجي للضوء المرئي^(١). وفي عام ١٩٥٤ قام فريق بحثي أمريكي مكون من "داريل شابين" و"كالفين فولر" و"جيرالد بيرسون" بتطوير كفاءة خلية السيليكون من ٤٪ إلى ١١٪، وقاموا بابتكار أول لوح كهروضوئي عالي الطاقة، كما يتضح بالشكل (٢-٢٤)، وسرعان ما تم الترويج لهذه التقنية تجارياً، وبدأت شركة "ويسترن إلكترونيك" ببيع الرخص التجارية لألواح السيليكون الكهروضوئي.



شكل (٢-٢٤)
أول لوح كهروضوئي
من السيليكون
المصدر: كاميليا محمد



وفي عام ١٩٥٨ بدأ استخدام الألواح الكهروضوئية في مجال الفضاء، لتزويد الأقمار الصناعية بالطاقة الكهربائية، حيث تم إطلاق القمر الصناعي "فان جراد ١"، وكان على سطحه ست ألواح كهروضوئية، وفي عام ١٩٥٩ تم إطلاق القمر الصناعي "اكسلورر ٦" بمصفوفة كهروضوئية مكونة من ٩٦٠٠ خلية (مقاس الخلية ١ × ٢ سم)^(٢)، ومن ذلك التاريخ أصبحت كل الأقمار الصناعية والمرصد الفلكية والمحطات الفضائية تستخدم الألواح الكهروضوئية لتوليد الطاقة الكهربائية^(٣). وفي عام ١٩٦٠ قامت شركة "هوفمان إلكترونيك" بتطوير كفاءة الخلية

(1) – Trivich, D. Photovoltaic Cells and Their Possible Use as Power Converters for Solar Energy. Ohio Journal of Science: Volume 53, Issue. 5-9-1953.

(٢) - سيدة أبو زيد. المرجع السابق.

(3) – Nasa Science. Nasa's Heasarc: Observatories, OSO 1.

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/oso1.html>. at 3-7-2022, at 2:30 Pm.

الكهروضوئية لتصل إلى ١٤٪^(١). وفي عام ١٩٦٣ استعانت اليابان بشركة "شارب" لتثبيت ألواح كهروضوئية من بلورات السيليكون لتوليد الكهرباء في فنار "أوجامي"، الذي يقع قبالة ساحل مدينة "نجازاكي" بجنوب اليابان، وكان له دور فعال في إثبات جدوى استخدام الألواح الكهروضوئية في المناطق النائية التي لا يتوافر بها مصدر للكهرباء^(٢)، كما يتضح بالشكل (٢-٢٥).

وفي سبعينات القرن العشرين قام "اليوت بيرمان" بدعم شركة "أكسون" بتصميم خلايا شمسية أقل تكلفة، لتخفيض تكلفة الإنتاج من ١٠٠ إلى ٧٦ دولار للوات، مما ساهم في تعزيز انتشار التقنية الكهروضوئية، وفي عام ١٩٧٢ تم تأسيس معهد تحويل الطاقة التابع لجامعة "ديلاور" لأجراء البحوث لتطوير الخلايا الكهروضوئية، وفي عام ١٩٧٦ قام مركز أبحاث "ناسا" لويس" بتركيب ٨٣ نظاماً كهروضوئياً في المناطق النائية التي لا تتوافر بها شبكات كهرباء، واستخدمت هذه الأنظمة لحفظ اللقاحات في المراكز الصحية، وإضاءة الفصول الدراسية والعيادات الطبية، والاتصالات وضخ المياه، كما أنشئت وزارة الطاقة الأمريكية برنامج الخلايا الكهروضوئية لتمويل أبحاث تطوير تصنيع الخلايا الكهروضوئية^(٣)، وفي عام ١٩٧٨ استخدم نفس المركز نظاماً كهروضوئياً بقدرة ٣,٥ كيلوات في جنوب ولاية أريزونا، لضخ المياه والكهرباء السكنية في ١٥ منزلاً حتى عام ١٩٨٣^(٤).



شكل (٢-٢٥)
فنار أوجامي باليابان
المصدر:

https://global.sharp/corporate/info/his/only_one/it/em/t09.html

وفي عام ١٩٨٠ استطاعت شركة "أركو" تصنيع نظام كهروضوئياً يولد ما يفوق واحد ميغاوات في العام، وفي نفس العام قام معهد "ديلاوير" بصناعة خلايا كهروضوئية من كبريتيد النحاس وكبريتيد الكاديوم، تصل قدرتها إلى ١٠٪، وفي عام ١٩٨١ قام "بول ماكریدی" بتصنيع طائرة تعمل بالخلايا الكهروضوئية، وفي عام ١٩٨٢ تم تنفيذ أول محطة لتوليد الطاقة الكهروضوئية بولاية كاليفورنيا بقدرة واحد ميغاوات، وشهد نفس العام صناعة أول سيارة تعمل بالخلايا الكهروضوئية في

(1) - "Bell Telephone Laboratories". American Institute of Physics. at 9-6-2019.

(2) - Rowlett, Russ. "Lighthouses of Japan: Nagasaki Area". The Lighthouse Directory. University of North Carolina at Chapel Hill. at 3-7-2022, at 12:55 Pm.

(3)- Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007 Makers, Cambridge University Press.

http://www.ipcc.ch/publications_and_data/. at 18-4-2023. at 3:30 Pm.

(٤) - سيدة أبو زيد. المرجع السابق.

أستراليا، كما استخدمت شركة "فولكس فاجن" الألمانية الخلايا الكهروضوئية على أسطح المركبات لتغذية نظام الإشعال، ومع استمرار تحسين الكفاءة وانخفاض التكلفة أصبحت الأنظمة الكهروضوئية شائعة الاستخدام كمصدر لتغذية الأجهزة الإلكترونية ذات القدرة المنخفضة، مثل الساعات والآلات الحاسبة وأجهزة استقبال الراديو والألعاب الإلكترونية وغيرها من التطبيقات^(١)، وتجاوز الإنتاج العالمي من الطاقة الكهروضوئية ٩,٣ ميجاوات، وفي عام ١٩٨٣ قامت شركة "أركو" ببناء محطة ثانية لتوليد الطاقة الكهروضوئية بوسط ولاية كاليفورنيا بقدرة ٦ ميجاوات، كما تم تصميم منازل في وادي نهر "هدسون" تستخدم الطاقة الكهروضوئية لتوليد الكهرباء، وبلغت قدرتها ٤ كيلووات، وبلغ الإنتاج العالمي من الطاقة الكهربائية ٢١,٣ ميجاوات في ذلك العام. وفي عام ١٩٨٥ تمكنت جامعة "ساوث ويلز" من إنتاج خلية كهروضوئية من السيليكون تصل كفاءتها إلى ٢٠٪.

وفي عام ١٩٩٠ أطلقت ألمانيا برنامجاً لتركيب الخلايا الكهروضوئية على أسطح المنشآت، وكان أول استخدام على سطح كاتدرائية "ماجدبورج"^(٢)، وفي عام ١٩٩٢ طورت جامعة "فلوريدا" الخلايا المصنوعة من تيلوريد الكاديوم لتبلغ كفاءتها ١٥٪^(٣)، وفي عام ١٩٩٤ تم تطوير الخلية المصنوعة من فوسفيد الإنديوم وزرنيخيد الجاليوم لتبلغ كفاءتها ٣٠٪، وفي عام ١٩٩٨ تم صنع أول طائرة بدون طيار تعمل بالخلايا الكهروضوئية، وفي عام ١٩٩٩ استخدمت خلايا كهروضوئية بلغت كفاءتها ٣٢,٢٪ في تغطية جزء من الواجهات الجنوبية والشرقية للطابق من ٣٧ إلى ٤٣ في مبنى "تايمز سكوير ٤" بمدينة نيويورك، كما يتضح بالشكل (٢-٢٦)، من خلال ٢٠٨ لوح تغطي مساحة ٢٧٤,٥ م^٢^(٤)، وفي نهاية الألفية الثانية بلغ إنتاج العالم من الكهرباء بتقنية الخلايا الكهروضوئية حوالي ١٠٠ ميجاوات في العام.



شكل (٢-٢٦)

مبنى "تايمز سكوير ٤" بمدينة نيويورك
المصدر:

<https://www.nrel.gov/docs/fy02osti/29940.pdf>

وفي عام ٢٠٠٠ تم تركيب عدد ٣٢٥٠٠ خلية كهروضوئية في الفضاء، كما تم تطوير المحول Inverter الذي يعمل على تحويل التيار المستمر الناتج من الخلية الكهروضوئية إلى تيار متردد يمكن استخدامه في شبكات توزيع الكهرباء، بما يعد نقلة ثورية في استخدام الطاقة الكهروضوئية^(٥)، كما يتضح بالشكل (٢-٢٧)، ويمكن استخدامه في الأجهزة ذات القدرة المتوسطة مثل شبكات الإنارة والثلاجات والمراوح وأجهزة التكييف، أو الأجهزة ذات القدرة المرتفعة مثل مضخات المياه وظلمبات الري ومحطات الاتصال وتحلية المياه، فضلاً عن استخدامها في النشاط الزراعي^(٦). وقد استتبع هذا

(١) - مصطفى منير محمود. البات تفعيل تطبيقات استخدام الطاقة الشمسية في إيجاد تنمية حضرية مستدامة. كلية التخطيط العمراني، جامعة القاهرة. ٢٠١٤.

(٢) - كاميليا محمد. المرجع السابق.

(٣) - سيدة أبو زيد. المرجع السابق.

(٤) - "4 Times Square Building – Integrated Photovoltaic System" Kiss + Cath cart. Archived on 18-8-2016.

(٥) - Basnet A. Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings. 2012.

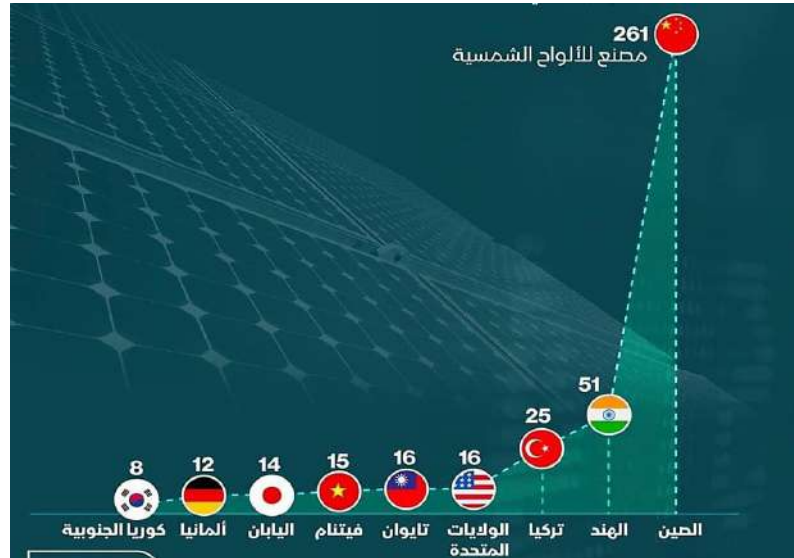
(٦) - إبراهيم أحمد صقر. الطاقة الشمسية. الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة. ١٩٨٧، ص ٩٦-٧٠.

تطور نمط الأنظمة الكهروضوئية إلى نظامين، النظام الأول ON Grid Solar System وهو يعمل على استخدام التيار المتردد الناتج من المحول، ويتم نقل التيار غير المستخدم إلى شبكة توزيع الكهرباء. أما النظام الثاني OFF Grid Solar System، وهو نظام يعمل على تخزين التيار المتردد غير المستخدم في بطاريات، ويتم استخدام هذا النظام بصفة أساسية في المناطق النائية غير المتصلة بشبكات التوزيع.



شكل (٢-٢٧)
المحول الذي يقوم بتحويل التيار المستمر الى تيار متردد
المصدر:
تصوير الباحث في ١٧-١٠-٢٠٢٢

وفي عام ٢٠٠٢ قامت لجنة المرافق العامة بكاليفورنيا بتقديم حوافز للإنتاج الذاتي للمشاريع الكهروضوئية الأكبر من ٣٠ كيلووات. وفي عام ٢٠٠٨ تراوحت التكلفة المثبتة للأنظمة الكهروضوئية السكنية من ٨ إلى ١٠ دولار لكل وات، ثم انخفضت التكلفة في عام ٢٠١٥ إلى ٠,٣ دولار للوات، بسبب زيادة كفاءة الوحدات الكهروضوئية وانخفاض تكلفة التصنيع^(١)، وبالتالي أضحى تصنيع الخلايا الكهروضوئية ضمن الصناعات الواعدة على مستوى العالم^(٢). وهيمنت الصين في عام ٢٠٢١ على تصنيع الخلايا الكهروضوئية في العالم، بإجمالي ٢٦١ مصنع، ينتجوا نحو ٧٥٪ من الألواح الكهروضوئية للسوق العالمي، كما يتضح بالشكل (٢-٢٨)، وفي عام ٢٠٢٢ أطلقت شركات "سونو موتورز" الألمانية و"أبيرا موتورز" الأمريكية و"لايت بير" الهولندية سيارات تعمل بالخلايا الكهروضوئية المتكاملة، بلغت سرعتها ٩٦ كم في الساعة، ومن المتوقع انتشار تلك السيارات تجارياً في عام ٢٠٢٤^(٣).



شكل (٢-٢٨)
هيمنة الصين على الإنتاج الدولي للألواح الكهروضوئية
المصدر:

https://www.asharqbusiness.com/?gclid=Cj0KCQjw98ujBhCgARIsAD7QeAic3eaDlpRtffNsfDXrPjdeZMjOlzf9bZh0KYWL3Ewj4WJvNHxFxflaAhATEALw_wcB

(1) – G. Nandan, et al., Eutectics usage to enhance the efficiency of the solar photovoltaic modules, in: Proceedings of International Conference in Mechanical and Energy Technology, Springer, 2020.

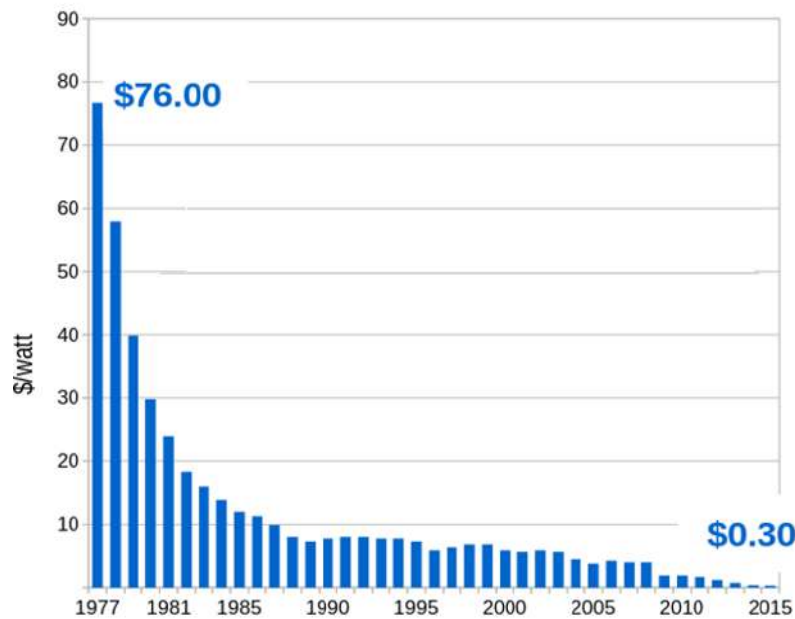
(٢) – سيدة أبو زيد. المرجع السابق.

(3) – Brigham, K. Why solar electric vehicles might be the next generation of EVs. CNBC, at 22-11-2022.

<https://www.cnbc.com/2022/11/22/how-sono-aptera-and-lightyear-are-making-solar-powered-evs-a-reality.html>. at 28-5-2023. at 3:30 Pm.

ويتضح مما سبق انخفاض تكلفة الواح المواد من الخلية الكهروضوئية من حوالي ٧٦ دولار في عام ١٩٧٧ إلى ٠,٣ دولار في عام ٢٠١٥^(١)، كما يتضح بالشكل (٢-٢٩)، كما انخفضت تكلفة تركيب النظام للكيلووات الواحد من ٤٨٠,٨ دولار في عام ٢٠١٠ إلى ٧٩٧ دولار في عام ٢٠٢٢^(٢)، ومن المتوقع أن يستمر انخفاض هذه التكلفة إلى ٢٦٠ دولار في عام ٢٠٣٠، كما يتضح بالشكل (٢-٣٠)، فهذا التطور السريع في انخفاض التكلفة جعل العالم يتجه إلى استخدام الطاقة الكهروضوئية، حيث ارتفع إنتاج الكهرباء المولدة من الخلايا الكهروضوئية من حوالي ٠,٠١ تيرا وات ساعة في عام ١٩٨٣ إلى ١١٠٠ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٢٢، كما يتضح بالشكل (٢-٣١)، بما يشكل حوالي ٣,٧٤٪ من إنتاج الكهرباء على مستوى العالم، كما يتضح بالشكل (٢-٣٢). وفي فبراير ٢٠٢٢ اندلعت شرارة الحرب الروسية الأوكرانية، وتوقف خط الغاز "نورد ستريم ٢" الذي يمد الغاز الروسي إلى أوروبا عن طريق ألمانيا، فارتفع سعر الغاز الطبيعي ثلاثة أضعاف^(٣)، مما أدى إلى سرعة الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الكهروضوئية، وأصبح بناء محطات الطاقة الكهروضوئية حلاً سريعاً نسبياً لارتفاع فواتير الطاقة^(٤)، وسارعت الشركات الأوروبية إلى تركيب الألواح الكهروضوئية على الأسطح والمساحات المفتوحة حول مقراتها، ومن المتوقع أن تقود الطاقة الكهروضوئية النمو في الإنفاق على الطاقة المتجددة في عام ٢٠٣٠^(٥)، نظراً لقدرتها التنافسية، مدعومة بمعنويات السوق الإيجابية، وأساليب التحفيز في السياسات الحكومية تجاه استخدام الطاقة منخفضة الكربون، ومن المتوقع أن تنمو الاستثمارات في الطاقة الكهروضوئية بأكثر من ١٠٪ في الصين والهند والولايات المتحدة وأوروبا^(٦).

شكل (٢-٢٩)
متوسط أسعار الخلية الكهروضوئية
بالدولار الأمريكي منذ عام ١٩٧٧ وحتى
عام ٢٠١٥
المصدر:
https://www.ewind.es/price_history_of_silicon_pv_cells_since_1977-svg



(1)- ewind. Price history of silicon PV cells since 1977.

https://www.ewind.es/price_history_of_silicon_pv_cells_since_1977-svg. at 29-5-2023. at 9:30 Pm.

(2) - Fernández, L. Average installed cost for solar photovoltaics worldwide from 2010 to 2021, Statista. at 8-2-2023.

<https://www.statista.com/statistics/809796/global-solar-power-installation-cost-per-kilowatt/>. at 1-6-2023. at 4:30 Pm.

(٣) - موقع "سي أن أن" بالعربية. ما هو "نورد ستريم ٢" وما علاقته بالأزمة بين روسيا وأوكرانيا وتأثيره على ألمانيا؟ ٢٠٢٢-٢-٩.

<https://arabic.cnn.com/business/article/2022/02/09/nord-stream-2-germany-russia-ukraine>. at 29-5-2023. at 2:05 pm.

(٤) - اقتصاد الشرق. الحرب الروسية الأوكرانية وأزمة الطاقة. ٢٠٢٢.

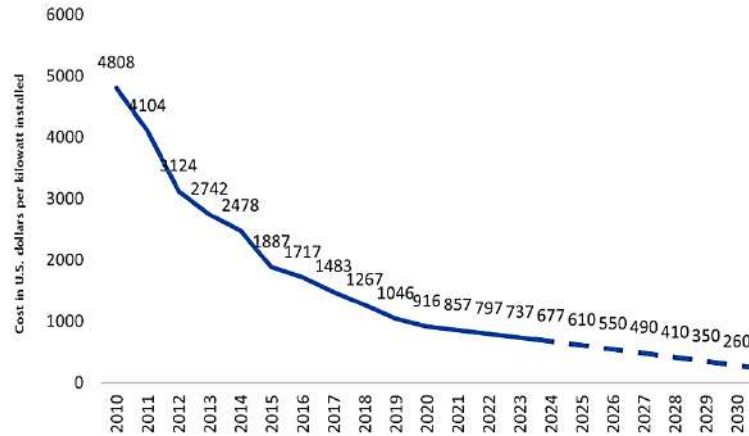
<https://www.asharqbusiness.com/> at 11-3-2022. at 2:10 pm.

(5) - Special Report on Solar PV Global Supply Chains. IEA Report, July 2022.

<https://www.iea.org/reports/solar-pv>. at 29-5-2023. at 8:30 Pm.

(6)- World Energy Investment Report 2021. IEA, 2021.

شكل (٣٠-٢)
متوسط التكلفة المركبة للخلايا
الكهروضوئية في العالم من عام ٢٠١٠
إلى عام ٢٠٣٠
المصدر: عمل الباحث

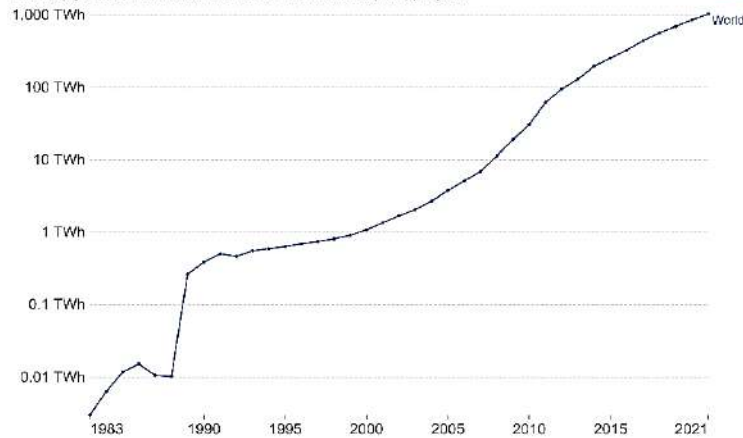


شكل (٣١-٢)
إنتاج الكهرباء عالمياً من خلال الطاقة
الكهروضوئية منذ عام ١٩٨٣ وحتى
عام ٢٠٢٢
المصدر:

<https://ourworldindata.org/grapher/solar-energy-consumption?tab=chart>

Solar power generation

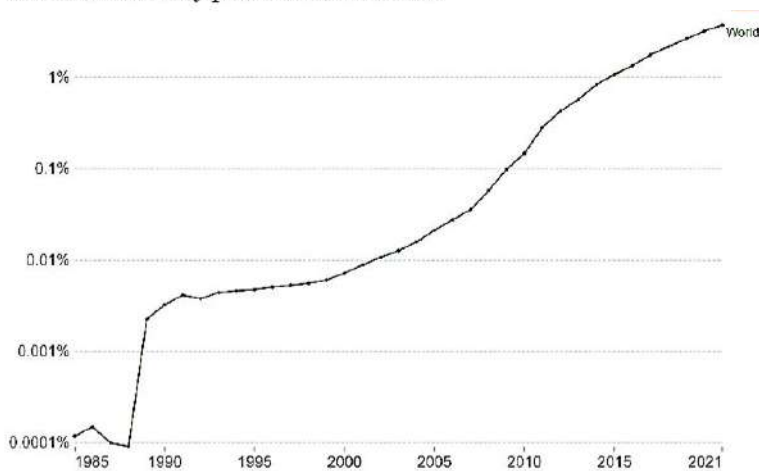
Electricity generation from solar, measured in terawatt-hours (TWh) per year.



شكل (٣٢-٢)
معدل إنتاج الكهرباء عالمياً من الطاقة
الكهروضوئية منذ عام ١٩٨٥ وحتى عام
٢٠٢٢
المصدر:

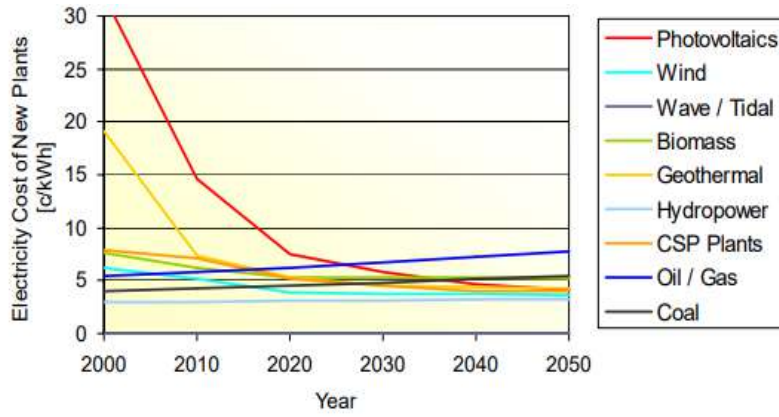
<https://ourworldindata.org/grapher/solar-energy-consumption?tab=chart>

Share of electricity production from solar



أما على مستوى إقليم MENA الشرق الأوسط وشمال أفريقيا يتضح من الشكل (٣٣-٢) ازدياد تكلفة إنتاج الكيلووات ساعة من الكهرباء من الوقود الأحفوري من حوالي ٣ دولار في عام ٢٠٠٠ إلى ٩ دولار في عام ٢٠٥٠، في حين انخفضت تكلفة إنتاج الكيلووات ساعة من الطاقة الكهروضوئية من حوالي ٣٠ دولار في عام ٢٠٠٠ إلى ٤ دولار في عام ٢٠٥٠، وبالمثل انخفضت تكلفة إنتاج الكيلووات ساعة من الطاقة الحرارية الشمسية من حوالي ٢٠ دولار في عام ٢٠٠٠ إلى ٣ دولار في عام ٢٠٥٠، ومن المتوقع أن يشهد السوق نمواً قوياً من الطاقة الشمسية الحرارية والكهروضوئية خاصة خلال الفترة الممتدة من ٢٠٣٠ إلى ٢٠٥٠.

شكل (٢-٣٣)
التوقع المستقبلي لتطوير تكلفة إنتاج
الكهرباء من المصادر المختلفة في إقليم
الشرق الأوسط وشمال أفريقيا
المصدر:
www.dlr.de/tt/med-csp



٢-٣-٢-٢ تطور استخدام الطاقة الكهروضوئية على المستوى المحلي

بدأ استخدام الطاقة الكهروضوئية في ثمانينات القرن العشرين على المستوى المحلي، من خلال استخدامها بشكل تجريبي في بعض أعمدة الإنارة بشوارع القاهرة التي تعتمد على توليد الطاقة الكهربائية أثناء ساعات النهار، وتخزينها في بطاريات، وإعادة استخدامها ليلاً، وفي مضخات المياه والاتصالات والتبريد، وفي لوحات الإعلانات التجارية في الطرق، كما تم إنشاء هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة عام ١٩٨٦ لتنمية استخدام هذه الطاقة، وتشجيع تصنيع المعدات محلياً وخاصة في مشاريع الطاقة الكهروضوئية، وتشجيع الأفراد وأصحاب الأعمال على استخدام الطاقة الكهروضوئية، وخاصة في المناطق النائية التي لا توجد بها شبكات توزيع كهرباء^(١)، وكان من ضمنها ١٢١ قرية بمعدل ١,٢ ميغاوات^(٢)، وكان من أوضح هذه الأمثلة قرى "أم الصغير" و"عين زهرة" بواحة سيوة عام ٢٠١٠، بتكلفة قدرها ٤٠٠ ألف يورو بدعم من الحكومة الإيطالية، وتتضمن المشروع إنارة ١٠٠ منزل و٤٠ عمود إنارة، ومدرسة وثلاث مساجد، ووحدين صحيين^(٣). وكذلك إنارة قرية "عين جريت" بمرس مطروح عام ٢٠١٢، بتعاون بين الحكومتين المصرية والهندية، ويتكون المشروع من إنارة ٤٠ منزل بطاقة استيعابية ٨,٨ كيلووات^(٤)، وايضاً قامت الهيئة بوضع خطة لتوليد ٧٠٠ ميغاوات من الطاقة الكهروضوئية بحلول عام ٢٠٢٧، مما سيخفض الانبعاثات الكربونية بمقدار ٧,٧ مليون طن سنوياً، ويوفر ما يقارب من ثلاثة ملايين طن وقود سنوياً^(٥)، وفي عام ٢٠١٤ قامت وزارة الكهرباء بعمل محطتين للطاقة الكهروضوئية على أسطح مقراتها تنتج ٤٠ كيلووات، كما قامت بإنارة ١٠ شوارع مؤدية إلى مبنى الوزارة بالطاقة الكهروضوئية^(٦)، وفي عام ٢٠١٥ قامت وزارة الزراعة بتركيب محطة طاقة كهروضوئية على سطح مقرها، تنتج ١٤٠ كيلووات، وبدأت العديد من المصانع في التحول نحو الطاقة الكهروضوئية، ومنها مصنع "سيراميك أرت" بالمنطقة الصناعية بمدينة السادس من أكتوبر عام ٢٠١٨، بمتوسط إنتاج ٢٢٨,٢٧ ميغاوات ساعة سنوياً، كما يتضح بالشكل (٢-٣٤)، ومصنع "فاركو" لصناعة الأدوية بالعامةرية الإسكندرية بمتوسط إنتاج ٢٦٠ ميغاوات ساعة سنوياً، كما يتضح بالشكل (٢-٣٥)، ومصنع الجوهرة للألومنيوم بالمنطقة الصناعية

(١) - زينب زعزوع. دور الطاقة المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة والمعوقات التي تواجهها (دراسة ميدانية بالتطبيق على وزارتي الكهرباء والبتترول في مصر ٢٠٣٠). المجلد الحادي والعشرين، العدد الأول، يناير ٢٠٢٠.

(2) - Patlitzianas K. D. Solar energy in Egypt: Significant business opportunities. In: Renewable energy 2011,36:2305-2311.

(3) - Ministry of Electricity and Renewable Energy. Introduction to New & Renewable Energy Authority (NREA). <http://www.nrea.gov.eg/About/Intro>. at 3-7-2022, at 10:00 Pm.

(4) - Samir, H. Ali, N. Applying building - integrated photovoltaics (BIPV) in existing buildings, opportunities and constrains in Egypt. International conference - green urbanism, 2017. P.P 614-625.

(٥) - معهد فراونهوفر لأنظمة الطاقة الشمسية. تكلفة الكهرباء من تكنولوجيا الطاقة المتجددة في مصر. ديسمبر، ٢٠١٦.

(6) - International Business Publications. Egypt Energy policy laws and regulations handbook, Vol.1 strategic information and developments. International business publications, USA, 2015.

بمدينة بمتوسط إنتاج ١٧٥,٧ ميجاوات ساعة سنوياً^(١)، كما يتضح بالشكل رقم (٢-٣٦)، ومصنع "نيسان موتورز" بالمنطقة الصناعية بمدينة السادس من أكتوبر عام ٢٠١٩ بمتوسط إنتاج ٨٤٤ ميجاوات ساعة سنوياً.



شكل (٢-٣٤)
محطة مصنع سيراميك أرت
المصدر:

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



شكل (٢-٣٥) محطة مصنع "فاركو" للأدوية

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



شكل (٢-٣٦) محطة مصنع الجوهرة للألومنيوم

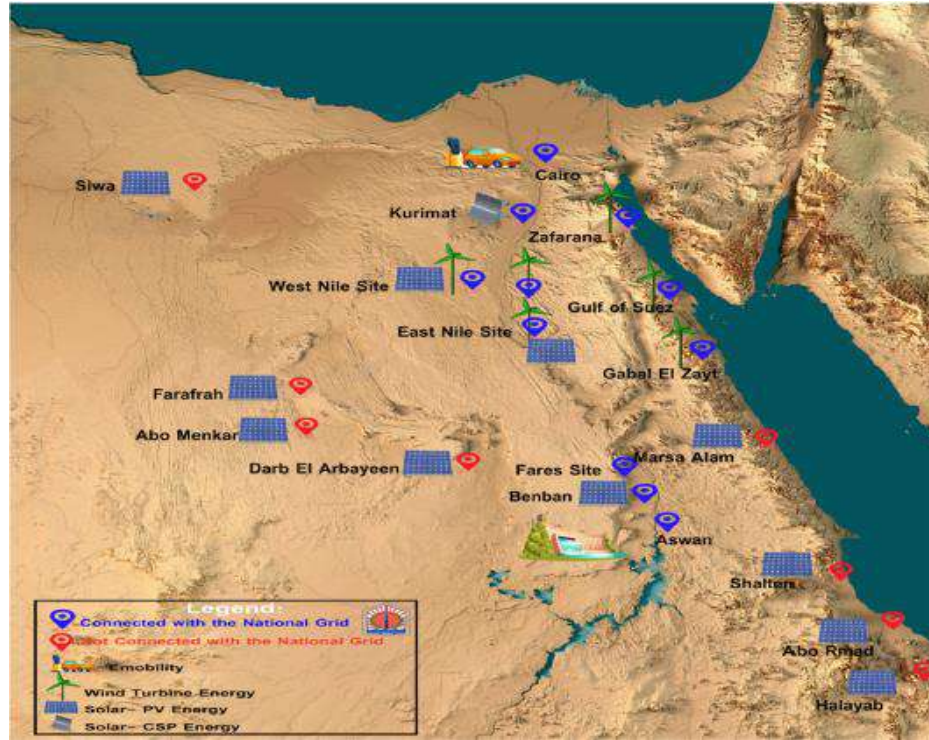
المصدر: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/eg/EG-Egypt-PV-Report-2020.pdf>

وفي عام ٢٠٢٢ قامت الهيئة بعمل حملة دعائية للترويج لاستخدام الطاقة الكهروضوئية، بالمشاركة مع مشروع الإتحاد الأوروبي "I M Power" وبنك التنمية الألماني وخاصة لإصحاب الأعمال والمصانع، على اعتبار أنه يمكن استرجاع

(1) – UNDP. National Project Grid Connected Small –Scale Photovoltaic Systems “Egypt-Pv” Report. 2020.

<https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/eg/EG-Egypt-PV-Report-2020.pdf>. at 14-4-2022. at 3:10 Pm.

استثمارات النظام في فترة تتراوح من خمس إلى ثمان سنوات^(١)، وتقوم مصر حالياً باستيراد الخلايا الكهروضوئية من أوروبا وأمريكا واليابان والصين، كما يوجد بعض المصانع المحلية لمستلزمات تركيب النظام ومنهم مصنع ١٤٤ الحرى، والشركة العربية لتصنيع الألواح الشمسية التابعة للهيئة العربية للتصنيع، ومصنع إنتاج ألواح الطاقة الشمسية بشركة بنها للصناعات الإلكترونية، فضلاً عن وجود العديد من الشركات لتركيب النظام، وحالياً يوجد ١١ محطة للطاقة الكهروضوئية في جميع أنحاء مصر، كما يتضح بالشكل (٣٧-٢) ومنها: -



شكل (٣٧-٢)
توزيع مواقع مشروعات
الطاقة المتجددة في مصر
المصدر:
[http://nrea.gov.eg/
Content/reports/Ann
ual%20Report%202
020%20En.pdf](http://nrea.gov.eg/Content/reports/Annual%20Report%202020%20En.pdf)

- محطة مدينة السادات بطاقة ٦٥ كيلووات، وتحتوي المحطة على ٢٦٤ لوح، وقدرة اللوح ٢٥٠ وات.
- محطة درب الأربعين وهي منحة إماراتية لمركز ومدينة باريس بالوادي الجديد بقدرة نصف ميغاوات، وتم تنفيذها عام ٢٠١٦.
- محطة مديرية التربية والتعليم في محافظة بنى سويف بقدرة ٤٠ كيلووات، وتتكون من ١٦٠ لوح، وتعتمد على تخزين الطاقة في ١٧٤ بطارية.
- محطة جامعة القاهرة التي تغطي ١٣ مبنى من مباني الجامعة، حيث بلغت تكلفة الاستهلاك السنوي للكهرباء بالجامعة ما يقارب من ٣٠ مليون جنيه، وهو الأمر الذي دفع الجامعة لاستخدام الطاقة الكهروضوئية لتخفيف العبء على الشبكة القومية للكهرباء.
- محطة جامعة المنيا والتي تم افتتاحها عام ٢٠١٨ بقدرة ٦٢ كيلووات، وتتكون من ٢٣٢ لوح، بقدرة ٢٦٥ وات للوح الواحد، ويصل متوسط الطاقة الإنتاجية للمحطة ١٢٠ ألف كيلووات ساعة، بعمر افتراضي ٢٥ عاماً.
- محطة بنبان بمحافظة أسوان يضم المشروع نحو ٤٠ محطة كهروضوئية، وتبلغ قدرة كل محطة ٥٠ ميغاوات، وتضم المحطة ٢٠٠ ألف لوح، تكفى لإنارة ٧٠ ألف منزل، وتعادل طاقة تلك المحطة ٩٠٪ من الطاقة المنتجة من السد العالي، وتقام على مساحة قدرها ٣٧ كم^٢ أي ٨٨٤٣ فداناً، بإجمالي استثمارات تبلغ ٢ مليار دولار، وتعمل على تغادى ٢ مليون طن من الانبعاثات الكربونية سنوياً^(٢)، كما تم اختيار موقع المشروع في أكثر المناطق

(1) – Ibrahim A. Renewable energy sources in the Egyptian electricity market: A review. In: Renewable and sustainable energy reviews 2015, 16:216-230.

(٢) - محمد الخياط. الرئيس التنفيذي لهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة. جريدة الاهرام، ٢٠٢٢.

سطوعاً للشمس في العالم بناءً على دراسات وكالة ناسا الفضائية، وتم الافتتاح التجاري للمحطة عام ٢٠١٨^(١)، كما يتضح بالشكل (٣٨-٢).



شكل (٣٨-٢)

محطة الطاقة

الكهروضوئية بنبان بالقرب

من أسوان

المصدر:

<http://www.nrea.gov.e>

[g/Technology/Heating](http://www.nrea.gov.e/Technology/Heating)

[Systems](http://www.nrea.gov.e/Technology/Heating)

○ محطة برج العرب تم افتتاحها عام ٢٠١٨، وهي محطة متعددة الأغراض، وتقوم بتوفير ٢٠٪ من احتياجات الطاقة للمدينة، وتولد المحطة واحد ميجاوات من الطاقة الكهروضوئية، وخمسة ميجاوات من الطاقة الحرارية، و ٢٥٠ م^٣ مياه محلاه من مياه البحر يومياً.

○ محطة كوم أمبو تم البدء في التشغيل التجاري لها عام ٢٠٢٠، وتعمل المحطة بقدرة ٢٦ ميجاوات بالتعاون مع الوكالة الفرنسية للتنمية^(٢)، كما يتضح بالشكل (٣٩-٢).

وبالتالي نلاحظ زيادة إنتاج الطاقة الكهروضوئية من حوالي ٠,٢١ تيرا وات ساعة في عام ٢٠١٠ إلى ٤,٨ تيرا وات ساعة في عام ٢٠٢٢، كما يتضح بالشكل (٤٠-٢)، بما يمثل ٢,٣٧٪ من إنتاج الطاقة الكهربائية، كما يتضح بالشكل (٤١-٢). كما بلغ استخدام الطاقة المتجددة في مصر حوالي ٢٠٪ في عام ٢٠٢٢، منهم ٢٪ من مشروعات الطاقة الشمسية، ومن المتوقع في عام ٢٠٣٥ أن تمثل الطاقة المتجددة ٤٢٪ من إجمالي إنتاج الطاقة، منهم ٢٢٪ من مشروعات الطاقة الكهروضوئية^(٣)، كما يتضح بالشكلين (٤٢-٢) و(٤٣-٢).



شكل (٣٩-٢)

محطة الطاقة

الكهروضوئية بكوم أمبو

المصدر:

<http://www.nrea.gov.e>

[eg/Technology/Heating](http://www.nrea.gov.e/Technology/Heating)

[Systems](http://www.nrea.gov.e/Technology/Heating)

(1) – Ministry of Electricity and Renewable Energy. Photovoltaic Cell Systems Projects.

<http://www.nrea.gov.e/Technology/HeatingSystems>. at 3-7-2022, at 11:00 Pm.

(2) – Ministry of Electricity and Renewable Energy. Photovoltaic Cell Systems Projects.

<http://www.nrea.gov.e/Technology/HeatingSystems>. at 3-7-2022, at 11:00 Pm.

(٣) – التقرير السنوي هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة مصر. ٢٠٢١.

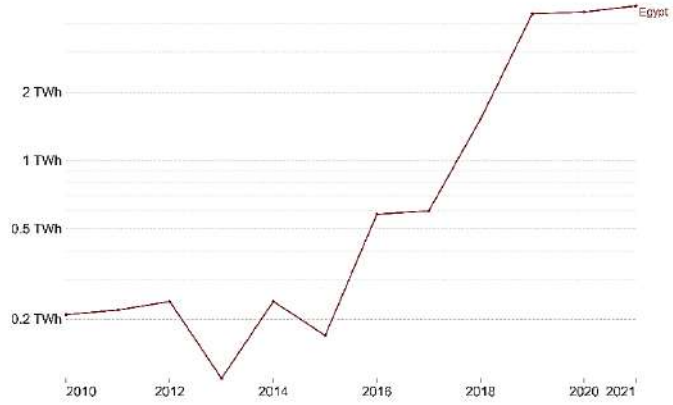
[http://nrea.gov.e/Content/reports/Annual%20Report%202021\(En\).pdf](http://nrea.gov.e/Content/reports/Annual%20Report%202021(En).pdf). at 29-5-2023. at 11:30 Pm.

شكل (٢-٤٠)
إنتاج الكهرباء محلياً من الطاقة الكهروضوئية منذ
عام ٢٠١٠ وحتى عام ٢٠٢٢
المصدر:

<https://ourworldindata.org/grapher/solar-energy-consumption?tab=chart>

Solar power generation

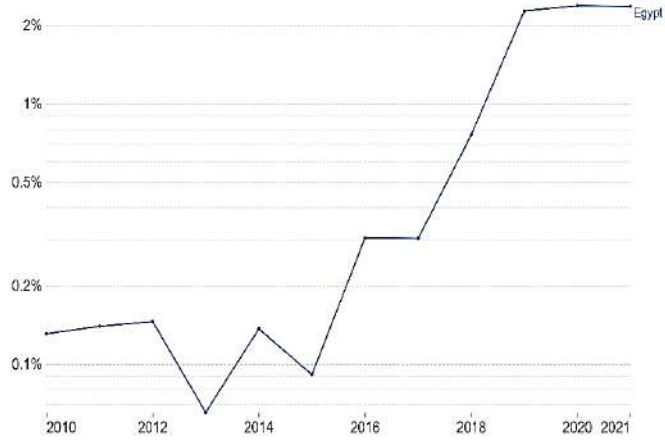
Electricity generation from solar, measured in terawatt-hours (TWh) per year.



شكل (٢-٤١)
معدل إنتاج الكهرباء محلياً من الطاقة الكهروضوئية
منذ عام ٢٠١٠ وحتى عام ٢٠٢٢
المصدر:

<https://ourworldindata.org/grapher/share-electricity-solar?tab=chart&yScale=log&facet=none&country=~EGY>

Share of electricity production from solar



شكل (٢-٤٢)
مصادر إنتاج الكهرباء واستخدام الطاقة الجديدة
والمتجددة في مصر في عام ٢٠٢٢
بتصرف عن المصدر:
التقرير السنوي هيئة الطاقة الجديدة
والمتجددة مصر ٢٠٢٠



شكل (٢-٤٣)
مصادر إنتاج الكهرباء وتوقعات استخدام الطاقة
الجديدة والمتجددة في مصر في عام ٢٠٣٥
بتصرف عن المصدر:
التقرير السنوي هيئة الطاقة الجديدة
والمتجددة مصر ٢٠٢٠



الفصل الثالث

استخدام الطاقة الكهروضوئية في العمارة

تتنوع تطبيقات الطاقة الشمسية في العمارة لعدة أنظمة، منها النظام الذاتي لتدفئة وتبريد وإضاءة الفراغات Passive System، والنظام الفعال لتدفئة وتبريد الفراغات Active System، الذي يتفرع بدوره إلى المجمعات الشمسية، ومنظومة الخلايا الكهروضوئية لتوفير الكهرباء Photovoltaic. وهو ما سيناشره هذا الفصل، وفي هذا الصدد يذكر السير "نورمان فوستر" بأن العمارة الكهروضوئية لم تعد مجرد موضة، ولكنها أصبحت ضرورة معاصرة^(١). ويناقش هذا الفصل مكونات النظام الكهروضوئي من الخلية الكهروضوئية واللوح الكهروضوئي، ومعرفة النظام الكهروضوئي، وتصنيفاته من حيث علاقته بشبكة توزيع الكهرباء، وأسلوب تركيب النظام بالمبنى، ومعرفة نظام BAPV، ونظام BIPV، وأسلوب عمل نظام BIPV، وكل من الاعتبارات الإنشائية والميكانيكية، والمناخية، والبيئية، والمعمارية الواجب مراعاتها عند استخدام النظام في المبنى.

٣-١ مكونات النظام الكهروضوئي

يمكن ببساطة تعريف النظام الكهروضوئي بأنه النظام الذي يستخدم الخلايا الكهروضوئية لتحويل الشعاع الشمسي الضوئي إلى تيار كهربائي، ويتكون النظام الكهروضوئي من المكونات الرئيسية التالية:

٣-١-١ الخلية الكهروضوئية

تعتبر الخلية الكهروضوئية PV Cell أصغر وحدة في النظام الكهروضوئي، ويقوم بتحويل ضوء الشمس المباشر إلى كهرباء من خلال التأثير الكهروضوئي، وتتكون الخلية بصفة عامة في إطار لوح التجميع من ثماني طبقات أساسية، فالطبقة الأولى هي الركيزة الخلفية Back sheet تتكون من مادة البوليستر أو "فلوريد بولي فينيل PVF" والتي يتم تجميع مكونات الخلية عليها، ويعلوها الطبقة الثانية وهي عبارة عن غشاء من مادة الإيثيلين فينيل إسياتات Encapsulant layer EVA وتكون بمثابة طبقة حماية خلفية للخلية، وعازلة للكهرباء والرطوبة، والطبقة الثالثة هي طبقة الاتصال الخلفية Rear Contact، التي تعمل على نقل التيار من الطبقة السادسة إلى الجزء الخلفي من الخلية، ويعلوها الطبقة الرابعة وهي الطبقة الرئيسية للخلية التي تعمل على توليد الكهرباء، وتكون من مادة شبه موصلة مثل السيليكون، ثم يعلوها الطبقة الخامسة وهي طبقة مضادة للانعكاس، وتصنع من مواد مختلفة، وتكون مسؤولة بدرجة كبيرة عن تحديد لون الخلية، وتتكون الطبقة السادسة من قضبان التوصيل الأمامية Front Contact، وتكون مصنوعة من النحاس المطلي بالقصدير أو الفضة أو البلاديوم، ثم تلوها الطبقة السابعة وهي تكرر للطبقة الثانية من مادة الإيثيلين فينيل إسياتات، وتكون بمثابة طبقة حماية أمامية للخلية، ثم يعلوها الطبقة الثامنة وهي طبقة شفافة تصنع من اللدائن أو الزجاج^(٢)، كما يتضح بالشكلين (٣-١) و(٣-٢)، وتنتج الخلية الواحدة فرق جهد في حدود ٠,٥ فولت.

(1) – Heinstein, P. etal. Building Integrated Photovoltaics (BIPV): Review, Potential, Barriers, and Myths. Expert View from Science. Green 2013, 3(2): 125–156.

(2) – Fonash, S. etal. Solar cell electronics. Encyclopedia Britannica. 6 June, 2023.

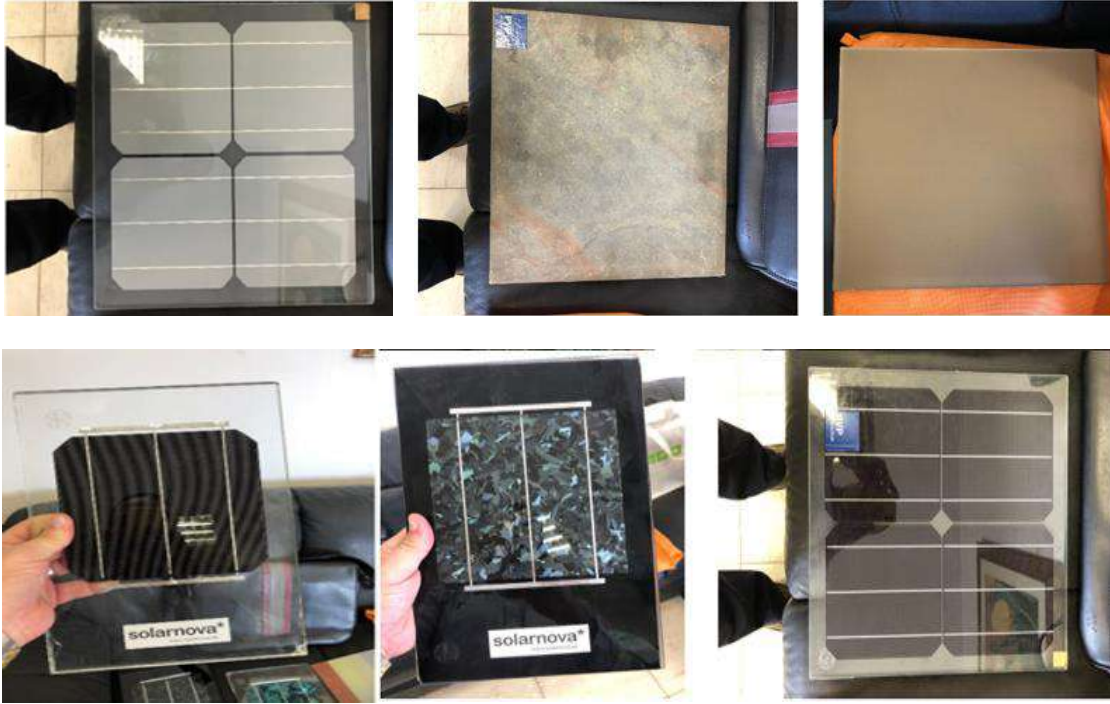
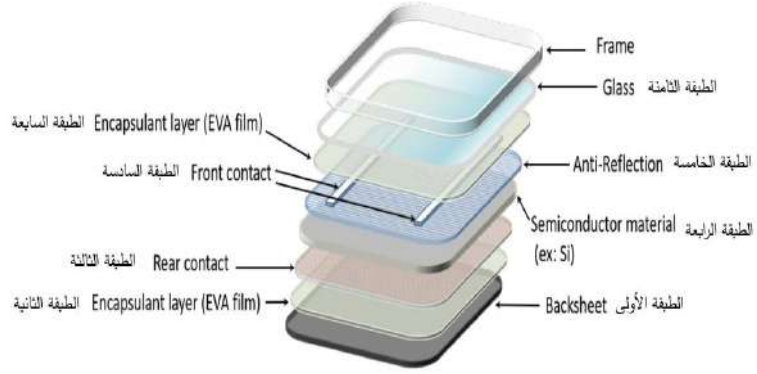
<https://www.britannica.com/technology/solar-heating>. at 18-6-2023. at 9:00 Pm.

شكل (٣-١)

مكونات الخلية

بتصرف عن المصدر:

https://www.researchgate.net/publication/331036665_Aesthetically_pleasing_PV_modules_for_the_Built_Environment



شكل (٣-٢) عينات للخلايا الكهروضوئية المتوفرة في السوق المحلي

المصدر: تصوير الباحث في ١٥-٩-٢٠٢١

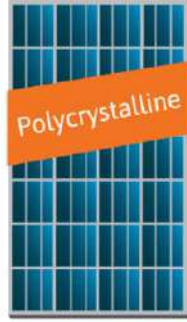
وغالبا ما يتم صناعة الطبقة الرابعة من الخلية من عنصر السيليكون، الذي يعتبر ثاني أكثر العناصر وفرة في القشرة الأرضية بنسبة ٢٨٪، وبذلك يعتبر من المواد المستدامة، ورمزه Si وعدده الذري ١٤، وهو من أشباه الفلزات، ويوجد بشكل أساسي في الرمال على هيئة ثاني أكسيد السيليكون، وتحتوي ذرة السيليكون على ١٤ إلكترون موزعة على ثلاث مدارات، والمدار الأخير به أربعة إلكترونات، مما يحفز ذرة السيليكون على إكمال النقص في هذا المدار إلى ثمان إلكترونات للوصول إلى حالة الاستقرار الذري، وبالتالي ترتبط ذرة السيليكون مع ذرة أخرى في صورة بلورة لتحقيق هذا الاستقرار، وحيث أن بلورة السيليكون النقي لا يوجد بها إلكترونات حرة لنقل التيار الكهربائي، لذلك يتم تطعيم بلورة السيليكون بذرات عناصر أخرى مثل البورون أو الجاليوم وتعرف تلك الذرات بالشوائب، حيث تعمل هذه الشوائب على تحفيز حركة إلكترونات السيليكون، وبالتالي توليد التيار الكهربائي^(١)، وتأخذ بلورات السيليكون الأشكال التالية كما يتضح بالشكل (٣-٣):-

(1) – American Chemical Society. How a Solar Cell Works.

<https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2013-2014/how-a-solar-cell-works.html>. at 20-5-2023. at 3:00 Pm.

شكل (٣-٣)
أنواع الخلايا الكهروضوئية المستخدم
بها مادة السيليكون
بتصرف عن المصدر:

<https://www.fuelcellstore.com/blog-section/components-of-a-photovoltaic-system>



سيليكون متعدد البلورة



سيليكون أحادي البلورة

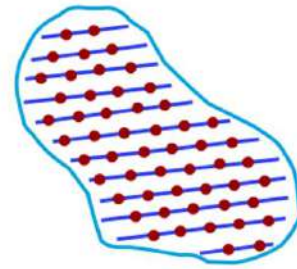
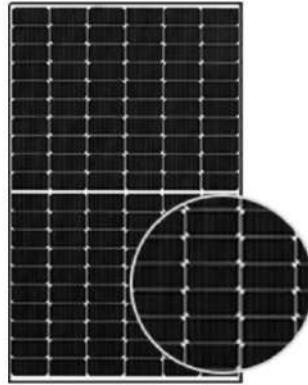


الأغشية الرقيقة

○ السيليكون أحادي البلورة **Monocrystalline**: يعتمد على تكوين البلورات المفردة من السيليكون النقي بنسبة شوائب قليلة^(١)، كما يتضح بالشكل (٣-٤)، وتتراوح كفاءته في إنتاج التيار من ١٥٪ إلى ٢٥٪^(٢).

شكل (٣-٤)
شكل خلية سيليكون أحادي البلورة
المرجع:

<https://news.energysage.com/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar>

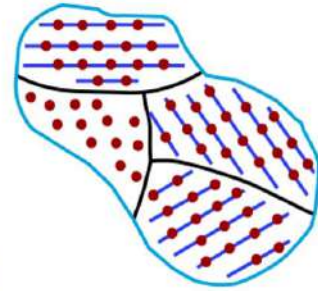
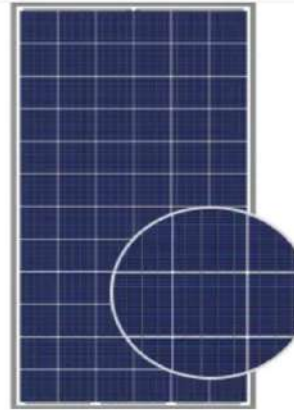


ج- Monocrystalline
أحادي البلورات

○ السيليكون متعدد البلورة **Polycrystalline**: وهو الأكثر استخداماً، والأرخص في عمليات التصنيع، ويتم إنتاجه عن طريق صب السيليكون الساخن في قوالب، ويتم تقطيعها على هيئة شرائح مستطيلة رقيقة، ولكنها أقل كفاءة من السيليكون أحادي البلورة^(٣)، بسبب تعدد البلورات مما يضعف حركة الإلكترونات، كما يتضح بالشكل (٣-٥)، وتتراوح كفاءته من ١٣٪ إلى ٢٠,٤٪^(٤).

شكل (٣-٥)
شكل خلية السيليكون متعددة البلورة
المرجع:

<https://news.energysage.com/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar>



ب- Polycrystalline
متعدد البلورات

(1) – Czochralski Crystal Growth Method. Bbc.co.uk. 30 January 2003. Retrieved on 6-12-2011.

(2) – Nishinaga, T. Handbook of Crystal Growth: Fundamentals (Second ed.). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier B.V. 2015. p. 21. ISBN 978-0-444-56369-9.

(٣) – كاميليا محمد، المرجع السابق.

(4) – Green, M. et al. Solar Cell Efficiency tables (version 60). Progress in Photovoltaics: Research and Applications published by John Wiley & Sons Ltd. 2022. DOI: 10.1002/pip.3595.

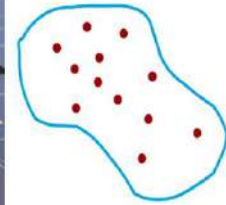
<https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/83270.pdf>. at 11-7-2023. at 7:00 Pm.

○ السيليكون غير المتبلور **Amorphous silicon (a-Si)**: وهو يعتمد على تقنية الخلايا الغشائية الرقيقة Thin-film Cells التي يتم تصنيعها عن طريق ترسيب طبقة رقيقة سمكها ميكرو متر واحد من البخار الكيميائي للسيليكون المحسن بالبلازما^(١)، وهو أرخص في التصنيع من السيليكون البلوري، ومتعدد الاستخدامات وخفيف الوزن، إلا أن عمره الافتراضي قصير يتراوح من سنتين إلى أربعة سنوات، وكفاءته منخفضة مقارنة بأنواع السيليكون الأخرى، حيث تتراوح من ٥% إلى ١٣%^(٢)، وتكون الخلية المستخدم بها ذات مظهر متجانس، ويميل لونها إلى البنّي المحمر أو الأزرق أو البنفسجي أو الأخضر^(٣)، كما يتضح بالأشكال من (٦-٣) إلى (٨-٣).

شكل (٦-٣)

خلية سيليكون غير متبلور
المرجع:

<https://energytheory.com/3-amorphous-solar-panels-advantages-and-disadvantages/>



Amorphous - أ
لا يوجد ترتيب دوري للذرات

شكل (٧-٣)

ألواح خلايا كهروضوئية ملونة من السيليكون غير متبلور
في الزجاج، محطة شحن سيارات بزيورخ
المصدر:

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf



شكل (٨-٣)

ألواح خلايا كهروضوئية ملونة من السيليكون غير متبلور،
الجناح النمساوي بمعرض أكسيو ميلانو ٢٠١٥، إيطاليا
المصدر:

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf



(1) – Solar Square. AMORPHOUS SILICON SOLAR CELL: COMPONENTS, WORKING PRINCIPLE, PRICE, AND PROS & CONS. 24 June, 2022.

<https://www.solarsquare.in/blog/amorphous-silicon-solar-cell-price/>. at 10-7-2023. at 12:20 Pm.

(2) – Bolt, O. Amorphous Solar Panels Advantages and Disadvantages. Energy Theory. 6 February, 2023.

<https://energytheory.com/3-amorphous-solar-panels-advantages-and-disadvantages/>. at 21-6-2023. at 3:30 Pm.

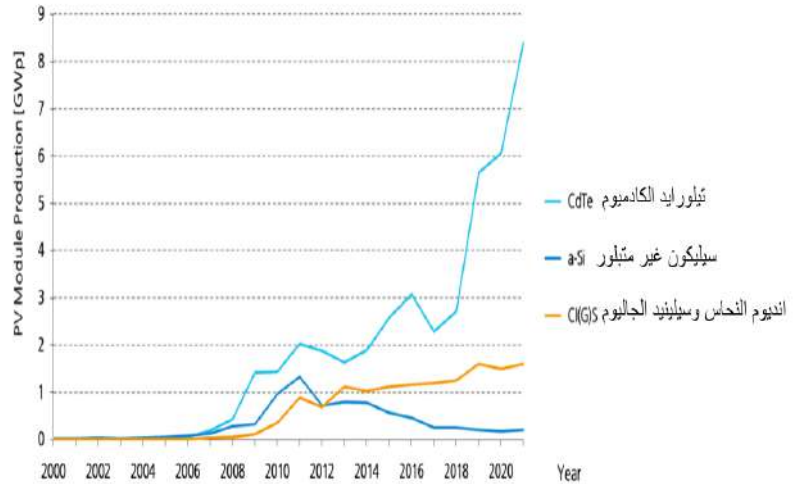
(3) – Sharma, A. Kothari, D. Solar Pv Façade for High-rise Buildings in Mumbai. International Journal of Civil Engineering Research. ISSN 2278-3652 Volume 8, Number 1, 2017. pp. 15-32

وفي إطار استخدام تقنية الخلايا الغشائية الرقيقة يمكن استخدام العديد من مركبات أشباه الموصلات بخلاف بلورات السيليكون،^(١) وتتمثل أهم هذه المركبات في **تيلورايد الكادميوم (CdTe)**، وتمتاز تلك الخلية بسهولة ورخص تصنيعها، مع عدم انخفاض كفاءتها عند الاستخدام، حيث تتراوح كفاءة الخلية من ٧٪ إلى ١٩,٦٪، ولكن من عيوبها أنها سامة. وتكون الخلية ذات مظهر متناسق، ويميل لونها إلى الأخضر الغامق^(٢)، ويمكن الحصول على درجات مختلفة من الشفافية من خلال استخدامها، كما يتضح بالشكل (٩-٣)، ويحتل تيلورايد الكادميوم الصدارة في إنتاج الخلايا الكهروضوئية المعتمدة على تقنية الأغشية الرقيقة، كما يتضح بالشكل (١٠-٣). وكذلك **انديوم النحاس وسليينيد الجاليوم (CIGS)** الذي تبلغ كفاءته من ١٢٪ إلى ١٨,٧٪^(٣)، كما يتضح بالشكل (١١-٣). وكذلك **زرنبيد الجاليوم** الذي يتميز بكفاءة عالية تتراوح من ٢٨,٨٪ إلى ٤١٪^(٤)، إلا أن الخلايا المستخدم بها باهظة الثمن، وتستخدم في الألواح الكهروضوئية على المركبات الفضائية^(٥).

شكل (٩-٣)
خلايا تيلورايد الكادميوم للتظليل وإنتاج
الطاقة في الواجهات
المصدر:
www.soltechenergy.com



شكل (١٠-٣)
النمو العالمي لخلايا السيليكون غير
المتبلور Thin Film Cells
حتى عام ٢٠٢٢
بتصرف عن المصدر:
<https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf>



(1) – Sharma, A. Kothari, D. Ibid.

(2) – Reese, M. Cadmium Telluride Solar Cells. National Renewable Energy Laboratory (NREL).

<https://www.nrel.gov/pv/cadmium-telluride-solar-cells.html>. at 21-6-2023. at 2:30 Pm.

(3) – Solar Feeds. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS).

<https://www.solarfeeds.com/mag/wiki/copper-indium-gallium-selenide/>. at 21-6-2023. at 2:38 Pm.

(4) – Conibeer, G. Third-generation photovoltaics. Materials Today. 2007, 10 (11): 42-50. doi:10.1016/S1369-7021(07)70278.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136970210770278X?via%3Dihub>. at 21-6-2023. at 4:00 Pm.

(5) – Sinovoltaics. GaAs Solar Cells.

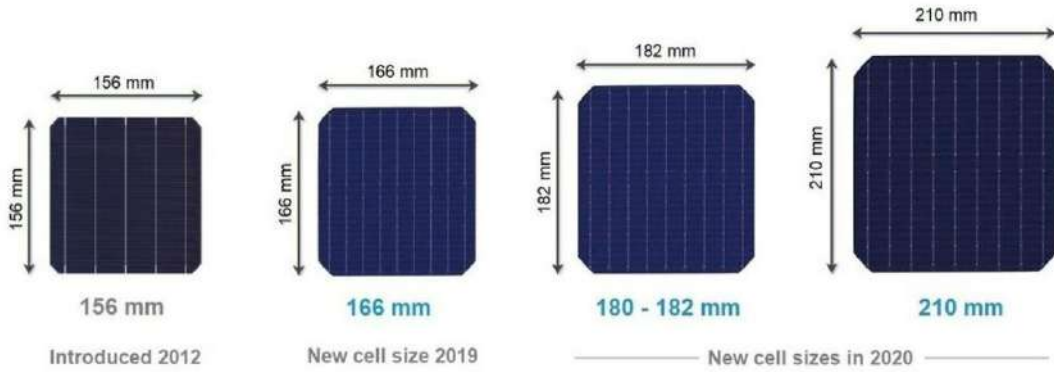
<https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/gaas-solar-cells/>. at 21-6-2023. at 3:40 Pm.



شكل (٣-١١)

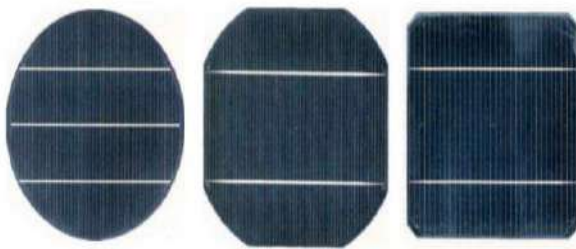
خلية كهروضوئية من انديوم النحاس وسيلينيد
الجاليوم (CIGS) بنسبة شفافية ٤٠٪
المصدر: www.soltechenergy.com

وغالبا ما يكون شكل الخلية مربع، يتراوح طول ضلعه من ١٥٦ إلى ٢١٠ مم من خلال أربعة أطوال قياسية^(١)، ويغلب استخدام الشكل المربع لأن هدر الإنتاج يكون أقل، وبالتالي أرخص في التكلفة، ويتراوح سمك الخلية من ١ إلى ٢ مم، ولكن هذا لا يمنع من إمكانية توافر الأشكال الهندسية الأخرى، ففي عام ٢٠١٤ تم إنتاج خلايا كهروضوئية ذات شكل مستطيل أبعادها ١٥٠×٧٥ مم، تبلغ كفاءتها ٧,٦٪، كما توجد خلايا مستديرة أو شبه مربعة، وخلايا مثلثة تبلغ كفاءتها ٦,٣٪، وتستخدم في القباب الجيوديسية، وخلايا سداسية تبلغ كفاءتها من ١٠,٨٪ إلى ١٢,١٪^(٢)، كما يتضح بالشكل (٣-١٢)، ويتم تجميع الخلايا بجانب بعضها مكونة الألواح كما سنتعرض لهذا لاحقا.



أ- الخلية الكهروضوئية المربعة

المصدر: <https://climatebiz.com/solar-panel-dimensions-chart/>



ج- الأشكال الهندسية المختلفة للخلية الكهروضوئية

المصدر: كاميليا محمد



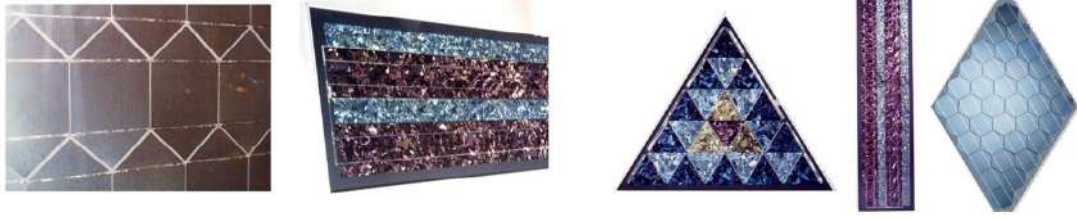
ب- الخلية الكهروضوئية المستطيلة

المصدر: <https://climatebiz.com/solar-panel-dimensions-chart/>

(1) – Lejtman, A. Solar Panel Dimensions Chart. climatebiz. 18 July, 2022.

<https://climatebiz.com/solar-panel-dimensions-chart/>. at 21-6-2023. at 2:30 Pm.

(2) – Tölle, R. etal. The Production of Aesthetically Pleasing Module prototypes within the BIMODE-Project Proc. 16th European PVSEC, 01-05 May 2000 in Glasgow.



د- الخلايا الكهروضوئية المثثة والمداسية
شكل (٣-١٢) الأشكال المختلفة للخلايا الكهروضوئية
المصدر: Tölle, R. et al.

ويتم تحديد لون الخلية وفقاً لمحددين، المحدد الأول أسلوب صناعة الطبقة الرابعة للخلية، ولون المادة المصنوعة منها، فبلورات السيليكون أحادي البلورة تكون ذات لون أسود بسبب ترتيب البلورات^(١)، والسيليكون متعدد البلورة يكون ذو لون أزرق أو رمادي مزرق بسبب عملية صهر بلورات السيليكون^(٢)، أما السيليكون غير المتبلور يميل لونه إلى البني المحمر أو البنفسجي أو الأزرق، في حين أن الخلايا المصنوعة من أغشية تيلورايد الكاديوم تتميز بلونها الأخضر الغامق. ويتمثل المحدد الثاني لتحديد لون الخلية من خلال تحديد لون وسمك الطبقة الخامسة المضادة للانعكاس الموجودة في الخلية، أو من خلال تحديد لون الطبقة الثامنة للخلية^(٣)، كما يمكن دمج الخلايا الكهروضوئية مع الزجاج الملون أو المنصهر ليعطى شكل جمالي^(٤)، كما يتضح بالأشكال من (٣-١٣) إلى (٣-١٦). ويجب مراعاة أن حركة إلكترونات أشباه الموصلات داخل الطبقة الرابعة للخلية ترتبط ارتباط وثيق بالطول الموجي لمكونات الطيف الشمسي الساقط عليها، حيث يتراوح الطول الموجي لطيف الإشعاع الشمسي من ٣٠٠ إلى ٢٥٠٠ نانومتر، وتتأثر إلكترونات بلورات السيليكون عبر الأطوال الموجية من ٢٥٠ إلى ١١٥٠ نانومتر^(٥)، وتعتبر العلاقة عكسية بين حركة الإلكترونات والطول الموجي، حيث تزداد حركة الإلكترونات مع قلة الطول الموجي، وبالتالي فإن أفضل الألوان المستخدمة في الخلية الكهروضوئية هي الألوان الداكنة ذات الطول الموجي المنخفض، وعلى رأسها اللون الأسود^(٦)، ثم درجات الأزرق ذات الطول الموجي الذي يتراوح من

(1) – American Solar Energy Society. Polycrystalline Solar Panels vs Monocrystalline Solar Panels. 20 February 2021.

<https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>. at 21-6-2023. at 2:00 Pm.

– Palmetto. Black vs Blue Solar Panels: What's the Difference?

<https://palmetto.com/learning-center/blog/black-vs-blue-solar-panels-monocrystalline-polycrystalline>. at 10-7-2023. at 1:30 Pm.

(2) – Dennis, S. Polycrystalline Silicon Cells: production and characteristics. Sinovoltaics, 8 October, 2020.

<https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/polycrystalline-silicon-cells-production-and-characteristics/>. at 21-6-2023. at 2:05 Pm.

(3) – Eder, G. et al. Coloured BIPV Market, Research and Development IEA PVPS Task 15, Subtask E Report T 15-07: 2019; Report IEA-PVPS T15-07: 2019; International Energy Agency: Paris, French, 2019; p. 60.

(4) – Tölle, R. et al. DEVELOPMENT OF COLOURED SOLAR MODULES FOR ARTISTIC EXPRESSION WITH SOLAR FACADE DESIGNS WITHIN THE "BIMODE"-PROJECT. Proc. 16th European PVSEC, 01-05 May 2000 in Glasgow.

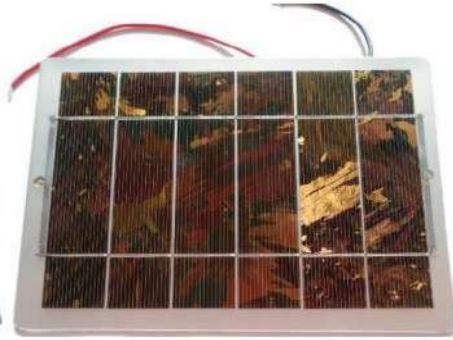
(5) – IEA PVPS Task 15, Subtask E, Report IEA-PVPS T15-07: 2019. COLOURED BIPV Market, Research and Development. Feb 2019.

https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf. at 21-6-2023. at 10:00 Am.

(6) – Peharz, G. Ulm, A. "Quantifying the influence of colors on the performance of c-Si photovoltaic devices", Renewable Energy. 2018, 129, 299-308; doi: 10.1016/j.renene.2018.05.068.

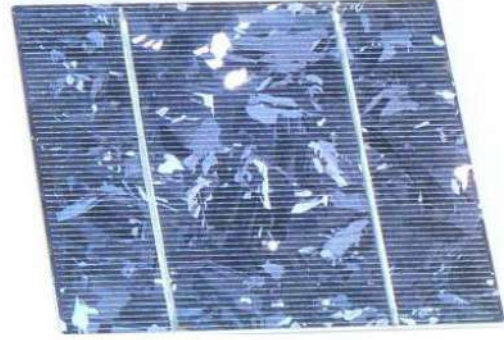
٤٠٠ إلى ٤٨٠ نانومتر، ثم درجات الأخضر ذات الطول الموجي الذي يتراوح من ٥٠٠ إلى ٥٥٠ نانومتر، وعلى العكس نجد أن درجات الأحمر ذات الطول الموجي الذي يتراوح من ٦٢٠ إلى ٧٠٠ نانومتر ذات كفاءة منخفضة في تحفيز حركة الإلكترونات^(١)، وكذلك كما سيتضح لنا في فصل المحددات التعبيرية.

شكل (٣-١٣)
الألوان المتاحة للخلايا الشمسية
أحادية البلورية
المصدر: www.lofsolar.com



شكل (٣-١٥) الخلايا الكهروضوئية متعددة البلورات
بسماعة معدلة

المصدر: www.solarcapturetechnologies.com



شكل (٣-١٤) الخلايا الكهروضوئية المربعة متعددة
البلورات في لونها الأصلي الرمادي المزرق

المصدر: www.solarcapturetechnologies.com



ب- دمج الخلايا مع الزجاج الملون



شكل (٣-١٦) دمج الخلايا الكهروضوئية مع الزجاج

المصدر: Tölle, R. et al.



أ- دمج الخلايا مع الزجاج المنصهر

في عام ٢٠٢٠ تمكن باحثو جامعة "توهوكو" في اليابان من صناعة خلية كهروضوئية شفافة Transparent بشفافية تصل إلى ٧٩٪، وعرفت باسم خلية "تقاطع شوتكي"، وبالتالي يمكن استخدامها بكفاءة في النوافذ^(٢)، وتم تصنيع الخلية من أكسيد قصدير الإنديوم كقطب كهربائي شفاف كبديل عن الطبقة الخامسة للخلية التقليدية، وتم استخدام ثاني كبريتيد

– IEA PVPS Task 15, Report. Ibid.

(1) – Klampaftis, E. et al. Integration of Color and Graphical Design for Photovoltaic Modules Using Luminescent Materials. IEEE J Photovoltaic. 2015; 5:584-90.

– IEA PVPS Task 15, Report. Ibid.

(2) – IEA PVPS Task 15, Report. Ibid.

التجستين كطبقة ضوئية كبديل عن الطبقة الرابعة للخلية التقليدية، ويعتمد تحفيز الإلكترونات بصفة أساسية على الطول الموجي للأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء^(١)، كما يتضح بالشكل (١٧-٣).



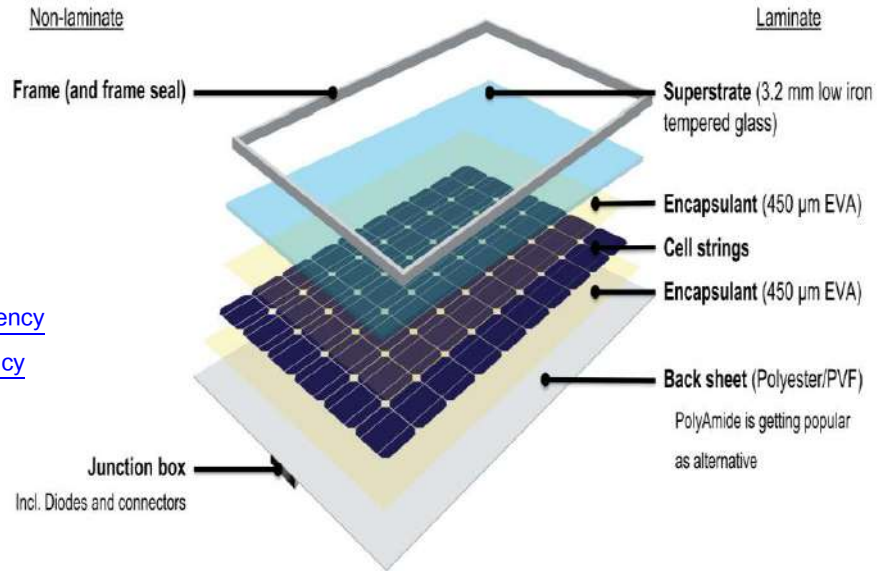
شكل (١٧-٣)

الخلية الكهروضوئية التي تصل درجة شفافيته إلى ٧٩٪
المصدر:

<https://solarmagazine.com/solar-panels/transparent-solar-panels>

٣-١-٢ اللوح أو Panel

يتكون اللوح من مجموعة من الخلايا، تتراوح من ٦٠ خلية على شكل شبكة (١٠×٦)، أو ٧٢ خلية على شكل شبكة (١٢×٦)، أو ٩٦ خلية على شكل شبكة (١٢×٨)، ويتم تجميع هذه الخلايا في إطار من الألومنيوم، يتراوح سمكه من ٣ إلى ٤ سم، ويأخذ اللوح الشكل المستطيل، ويتراوح طول ضلعه القصير من ٥١،٠ إلى ١٤٠،١ م، ويتراوح طول ضلعه الآخر من ٥٨،٠ إلى ٢٤٤،٤ م^(٢)، ويمكن أن يأخذ اللوح الشكل المنحنى، ويحتوي اللوح على صندوق للتوصيل Junction box من الخلف^(٣)، كما يتضح بالشكلين (١٨-٣) و(١٩-٣). وتتراوح القدرة الكهربائية للوح من ٥٠ إلى ٦٠٠ وات، كما يتضح بالجدول (١-٣). ويتم توصيل الألواح مع بعضها على التوالي لتكوين النظام الكهروضوئي، في إطار التوجيه الأمثل نحو الشمس، وعدم تعرضها للظلال.



شكل (١٨-٣)
مكونات اللوح
المصدر:

https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_cell_efficiency

(1) – SOLAR MAG. Transparent Solar Panels: Reforming Future Energy Supply. Solar Magazine. 29 February, 2020.

<https://solarmagazine.com/solar-panels/transparent-solar-panels/>. at 21-6-2023. at 5:00 Pm.

(2) – Airis Solutions. Solar Panels Dimensions.

<https://airisenergy.us/solar-panels-dimensions/>. at 21-6-2023. at 1:10 Pm.

(٣) – كاميليا محمد، المرجع السابق.

جدول (١-٣) الأبعاد الشائعة للألواح وقدراتها الكهربائية بالوات

المساحة م ^٢	أبعاد اللوح بالسلم	القدرة الكهربائية للوح بالوات
٠,٣	٥١ × ٥٨	٥٠
٠,٦	٥٦ × ١٠٢	١٠٠
١	٦٨ × ١٤٧	٢٠٠
١,٦	٩٩ × ١٦٥	٣٠٠
٢	١٠٢ × ١٩٨	٤٠٠
٢,٥	١١٢ × ٢٢٦	٥٠٠
٢,٨	١١٤ × ٢٤٤	٦٠٠



شكل (١٩-٣) الشكل العام للألواح الكهروضوئية

المصدر: الباحث

٢-٣ النظام الكهروضوئي

يتكون النظام من خلال توصيل مجموعة من الألواح مع بعضها على التوالي، كما سبق الذكر آنفاً، حيث تتولد الكهرباء في صورة تيار مستمر من خلال سقوط أشعة الشمس على الألواح، ويتم تحويل هذا التيار المستمر إلى تيار متردد بواسطة المحول أو الأنفرتتر، ويتم تغذية المبنى بهذا التيار المتردد. وتصنف الأنظمة الكهروضوئية من خلال نوعين من التصنيف، النوع الأول علاقة النظام الكهروضوئي بشبكة توزيع الكهرباء كما يلي: -

١-٢-٣ أنظمة مستقلة عن الشبكة العامة Stand alone أو OFF Grid Solar System

في هذا النوع يتم تخزين الطاقة الفائضة من النظام في بطاريات، وأثناء الليل يقوم المبنى باستهلاك الطاقة اللازمة له من خلال البطارية، ويتراوح العمر الافتراضي للبطارية من سنتين إلى ثلاثة، ويستخدم هذا النظام في المناطق النائية البعيدة عن شبكة الكهرباء، كما يتضح بالشكل (٢٠-٣).



شكل (٢٠-٣)

نظام كهروضوئي غير

متصل بالشبكة OFF

Grid Solar System

بتصرف عن المصدر:

<https://www.youtube.com/watch?v=rCaP>

[WLaKnII&list=LL&in](https://www.youtube.com/watch?v=rCaP)

[dex=76](https://www.youtube.com/watch?v=rCaP)

٢-٢-٣ أنظمة مرتبطة بشبكة الكهرباء العامة Grid - Tied أو ON Grid Solar System

في هذا النوع يتم ربط النظام مع الشبكة العامة لتوزيع الكهرباء، دون الحاجة لوجود بطارية، ومن مميزات هذا النظام أن مكوناته أقل، ويستفيد من البنية الأساسية للشبكة العامة للكهرباء، حيث يمكن للمبنى الاكتفاء من الطاقة الكهروضوئية المتاحة، وفي حالة الاحتياج إلى طاقة أكبر يتم استكمالها من الشبكة العامة، وفي حالة وجود فائض من الطاقة المولدة من النظام يتم إعطاؤها للشبكة العامة، ويتم عمل مقاصة لاستهلاك المبنى من خلال عداد خاص، كما يتضح بالشكل (٢١-٣).



شكل (٣-٢١)
نظام كهروضوئي متصل
بالشبكة ON Grid
Solar System
بتصرف عن المصدر:
<https://www.youtube.com/watch?v=rCaPWLaknII&list=L&index=76>

٣-٢-٣ أنظمة هجينة Hybrid System

وهو عبارة عن نظام مرتبط بالشبكة العامة لتوزيع الكهرباء، وملحق به بطاريات لتخزين الفائض من الطاقة يمكن استخدامها في حالة انقطاع التيار ليلاً، ولكن يعتبر هذا النظام مكلف بسبب إضافة البطارية للنظام.

يعتمد النوع الثاني من التصنيف على أسلوب تركيب النظام بالمبنى كما يلي: -

٣-٢-٤ النظام المركب على سطح المبنى BAPV System

يعرف النظام الكهروضوئي المثبت بالمبنى Building Applied (or Attached) Photovoltaics (BAPV) على أنه ألواح كهروضوئية مثبتة على سطح المبنى، بشكل مائل وفقاً لزاوية ميل الشمس المثلى للموقع، ويكون التركيب على قوائم رأسية من قطاعات الألومنيوم مثبتة على السطح، بما يشكل حمل إضافي على المنشأ^(١)، كما يتضح بالشكل (٣-٢٢)، ويحتاج إنتاج ك.و.س واحد من الطاقة الكهربائية مساحة من الألواح الكهروضوئية تتراوح من ١٠ إلى ٢٠ م^٢^(٢)، وتتوزع تكلفة النظام ما بين حوالي ٦٠٪ للألواح الكهروضوئية و ٤٠٪ لنظام التثبيت^(٣). ويعتبر هذا النظام من الأنظمة التقليدية الأكثر شيوعاً بداية من العقد الثاني للألفية الثالثة، وتوجد العديد من الأمثلة المحلية التي استخدمت هذا النظام، وتتمثل أوضح هذه الأمثلة فيما يلي: -

(١) مجمع الندى السكنى بالشيخ زايد عام ٢٠١٨، حيث يتكون المجمع من ١٦٧ وحدة سكنية بمساحة ٥٠ فدان تقريباً، كما يتضح بالشكل (٣-٢٣)، تنتج الفيلا الواحدة طاقة يومية تتراوح من ٥ إلى ١٠ ك.و.س، لينتج المجمع طاقة سنوياً بمقدار ١٦ ميغا.و.س.

(٢) مبنى نقابة المهندسين بمدينة الخارجة بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠١٩، بمتوسط إنتاج سنوي ١٨ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٢٤).

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

(٢) – كاميليا محمد، المرجع السابق.

(٣) – ماجد أبو النجا الشرقي، المرجع السابق.

- ٣) استخدام النظام في المنشآت التراثية في منزل يكن بالدرب الأحمر، القاهرة عام ٢٠١٩، بمتوسط إنتاج سنوي ٢٧ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٢٥).
- ٤) مبنى بنك قطر الوطني فرع السادس من أكتوبر عام ٢٠٢٠، بمتوسط إنتاج سنوي ٨١ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٢٦).
- ٥) مبنى المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء بالدقي، الجيزة عام ٢٠١٨، بمتوسط إنتاج سنوي ١٤٤ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٢٧).
- ٦) مبنى المدرسة البريطانية بمدينة الشيخ زايد عام ٢٠١٩، بمتوسط إنتاج سنوي ١٧٦ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٢٨).
- ٧) فندق "جي دبليو ماريوت" بالتجمع الأول بالقاهرة عام ٢٠١٨، بمتوسط إنتاج سنوي ٢٤٥ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٢٩).
- ٨) مبنى كارفور فرع مدينتي عام ٢٠١٨، بمتوسط إنتاج سنوي ٢٩١ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٣٠).
- ٩) مجمع بالم هيلز السكني بالسادس من أكتوبر عام ٢٠١٩، حيث تم بناء المجمع على مساحة ٢ مليون م^٢ تقريباً، كما يتضح بالشكل (٣-٣١)، لتنتج الفيلا الواحدة طاقة يومية تتراوح من ٥ إلى ١٠ ك.و.س، لينتج المجمع طاقة سنوياً بمقدار ٣٥٢ ميغا.و.س.
- ١٠) مبنى أكاديمية الحياة الدولية بالتجمع الخامس بالقاهرة عام ٢٠١٩، بمتوسط إنتاج سنوي ٦٠٦ ميغا.و.س، كما يتضح بالشكل (٣-٣٢).



شكل (٣-٢٢) طريقة تثبيت نظام BAPV

المصدر: الباحث



شكل (٣-٢٣) مجمع الندى السكني بمدينة الشيخ زايد

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



شكل (٢٤-٣) مبنى نقابة المهندسين بمدينة الخارجة

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



شكل (٢٥-٣) منزل بيت يكن بالدرب الأحمر، القاهرة

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



شكل (٢٦-٣) مبنى بنك قطر الوطني الأهلي بمدينة السادس من أكتوبر

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



شكل (٢٧-٣) المركز القومي لبحوث الإسكان والبناء بالدقي، الجيزة

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



شكل (٢٨-٣) المدرسة البريطانية بالشيخ زايد

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



شكل (٢٩-٣) مبنى فندق "جي دبليو ماريوت" بالتجمع الأول

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



شكل (٣٠-٣) مبنى كارفور فرع مدينتي

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



شكل (٣١-٣) مجمع بالم هيلز السكني بمدينة السادس من أكتوبر

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



شكل (٣-٣) أكاديمية الحياة الدولية بالتجمع الخامس

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

٣-٢-٥ النظام المتكامل مع غلاف المبنى BIPV System

يُعد نظام الألواح الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى (BIPV) تقنية متعددة الوظائف، مصممة لعدة أغراض، فالإ جانب توليد الكهرباء، يعمل النظام كجزء من غلاف المبنى الخارجي، وقد يكون من المفيد قبل التطرق إلى الشرح التفصيلي لمكونات النظام التعرف على التطور التاريخي لاستخدامه، حيث بدأت فكرة استخدام الألواح الشمسية التي تعمل كمجمع حراري لتسخين المياه، بشكل متكامل مع غلاف المبنى، في إطار المشروعات التجريبية التي تبناها معهد "ماساتشوستس" للتكنولوجيا MIT بالولايات المتحدة، ففي عام ١٩٣٩ تم تنفيذ مشروع "سولار ١"^(١)، كما يتضح بالشكل (٣-٣)، الذي أشرف على تصميمه "هويت هوتيل"، والمشروع عبارة عن مبنى من طابق واحد يحتوى على غرفتين، وتم استخدام الألواح الشمسية لتشييد السطح المائل للمبنى بشكل متكامل مع المنشأ، ويتكون السطح من ١٤ لوحاً شمسياً بزاوية ميل ٣٠ °، وأسفل الألواح صفائح نحاسية مطلية باللون الأسود، وتمتد أسفل هذه الصفائح مواسير للمياه تتصل بخزان في البدروم سعته ١٧٤٠٠ جالون^(٢)، ويقوم النظام بالاستفادة من حرارة ضوء الشمس في تدفئة المنشأ، وبالرغم من أن النظام لا يعتمد على استخدام الطاقة الكهروضوئية، إلا أنه كان أول مثال لاستخدام الألواح الشمسية المتكاملة مع المبنى^(٣). وفي عام ١٩٤٨ انطلق مشروع "سولار ٢"، واعتمدت فكرته على تكامل الألواح الشمسية مع جزء من الواجهة الجنوبية للمبنى^(٤)، كما يتضح بالشكل (٣-٤). وفي نفس العام تم إنشاء مشروع تجريبي ثانٍ أطلق عليه أسم "دوفر صن هاوس"، وصممه "إميليا بيبودي" و"ماريا تيليكس"، والمشروع عبارة عن مبنى يتكون من دورين، ويضم خمس غرف، وتم تثبيت الألواح الشمسية بشكل متكامل مع الواجهة الجنوبية بالمبنى على مساحة ٢٤٤ م^(٥)، كما يتضح بالشكل (٣-٥). وفي عام ١٩٤٩ تم تطوير مشروع "سولار ٢" إلى "سولار ٣"، حيث تم استخدام الألواح الشمسية بشكل متكامل مع سطح المنشأ بزاوية ميل ٥٧ °. كما يتضح بالشكل

(1) - Eiffert, Patrina and Kiss, Gregory J. Building-Integrated Photovoltaic Design for Commercial and Institutional Structures: A Source Book for Architects. s.l.: DIANE Publishing, 2000.

(2)- Building integrated photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders. Becquerel institute Report 2020.

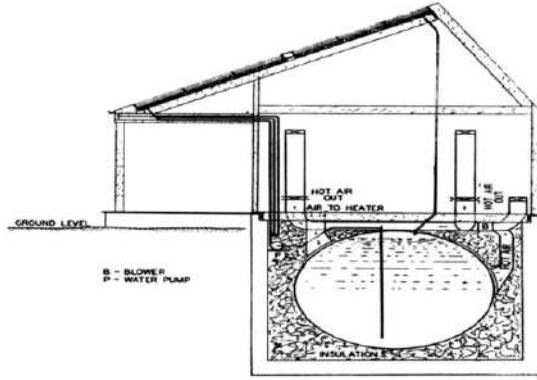
(3) - MIT Libraries, MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. MIT Buildings: Solar Houses.

<https://libguides.mit.edu/c.php?g=175920&p=1160317>. at 29-3-2022, at 12:30 AM.

(4) - Dietz, A.G.H. and Czapek, E.L. "Solar heating of houses by vertical south wall storage panels," Heating, Piping & Air-Conditioning 22 (March 1950): 118-125.

(5) - "Sun house at Dover, Mass., passes second successful winter without fuel bill," Heating & Ventilating 47 (July 1950): 95.

(٣٦-٣). وفي عام ١٩٧٨ تم إنشاء "سولار ٥" كما يتضح بالشكل (٣٧-٣)، في حرم المعهد، وتم استخدامه من قبل قسم الهندسة المعمارية كاستديو للرسم (١).



شكل (٣٣-٣) مبنى "سولار ١" ١٩٣٩

المصدر: <https://energyhistory.yale.edu/library-item/mit-solar-house-i-1939>



شكل (٣٤-٣) مبنى "سولار ٢" ١٩٤٨

المصدر: <http://web.mit.edu/solardecathlon/solar2.html>



شكل (٣٥-٣) مبنى دوفر صن هاوس عام ١٩٤٨

المصدر: <https://energyhistory.yale.edu/library-item/eleanor-raymond-and-maria-telkes-dover-sun-house-dover-massachusetts-1948>

(1) – Johnson, T. and Quinlan, E. MIT Solar Building 5: The Second Year's Performance. Cambridge, MA: Dept. of Architecture, MIT, 1979. Detailed drawings, data, photographs. [TH7413 .M23].



شكل (٣-٣٧) مبنى "سولار ٥" عام ١٩٧٨
المصدر:

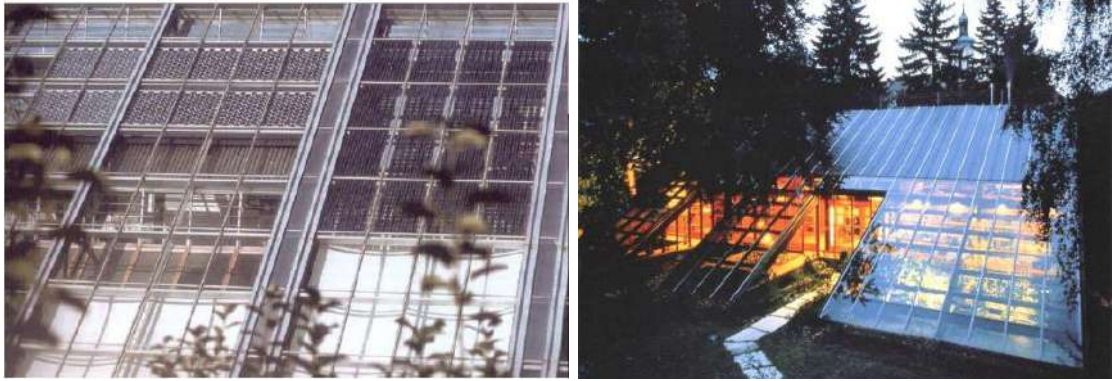


شكل (٣-٣٦) مبنى "سولار ٣" عام ١٩٤٩
المصدر:

<http://web.mit.edu/solardecathlon/solar5.html>

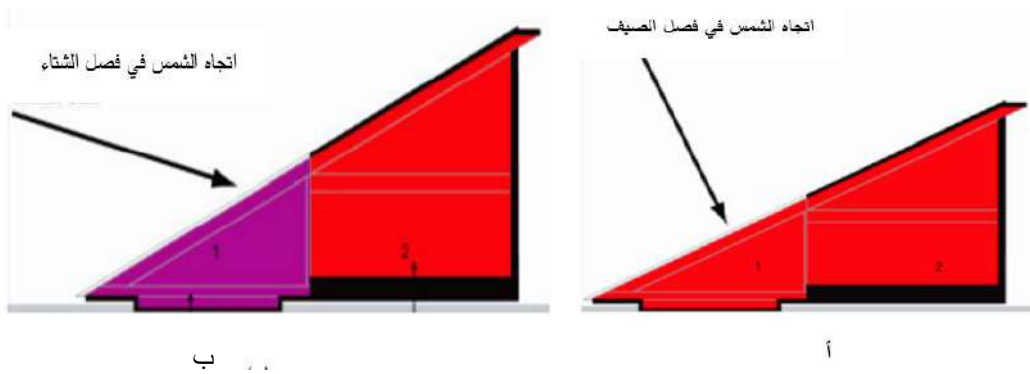
<http://web.mit.edu/solardecathlon/solar3.html>

وكان أول استخدام للألواح الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى عام ١٩٨٢، على يد المعماري "توماس هيرتزوج" و"بيرنارد شيلينج"، الذين قاما بتصميم وتنفيذ "مجمع ريختر" السكني بمدينة ميونخ بألمانيا، والذي يعد أول مبنى سكني يستخدم ألواح الطاقة الكهروضوئية المتكاملة مع غلاف المبنى، وتم تثبيت الألواح في السطح والواجهة الجنوبية بزوايا ميل ٤٥° باتجاه الجنوب، وعلى مساحة ٦٠ م^٢ (١)، كما يتضح بالشكلين (٣-٣٨) و(٣-٣٩).



شكل (٣-٣٨) "الواجهة الجنوبية لمجمع ريختر" السكني

المصدر: https://solararchitecture.ch/wp-content/uploads/2020/11/201022_BIPV_web_V01.pdf



شكل (٣-٣٩) قطاع في مجمع ريختر السكني

المصدر:

PETERSON, M. Thermal Space in Architecture. Aalborg University, Department of Architecture, Design & Media Technology and University of Cambridge, Department of Architecture. 18 October 2012. <http://vbn.aau.dk/files/41487696/Poster.pdf>.

(1) –Solar architecture. Wohnanlage Richter, München.

<https://solararchitecture.ch/timeline/wohananlage-richter/>. at 19-8-2023. at 4:30 Pm.

وبداية من حقبة التسعينيات أصبح نظام BIPV متاحاً للاستخدام التجاري في العالم، حيث دعمت وزارة الطاقة الأمريكية مصنعي مكونات النظام، وتطوير مواد BIPV الجديدة. وفي عام ١٩٩٨ تم استخدام نظام BIPV في الجدران الستائرية في مبنى "بومبيو فايبيرا"، وهو مبنى مكتبة عامة في برشلونة بإسبانيا، وتم استخدام ألواح كهروضوئية نصف شفافة على سطح ٢٢٥ م^٢ من الواجهة، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ١٥ ميغا.و.س^(١)، كما يتضح بالشكل (٣-٤٠).



شكل (٣-٤٠) مبنى "بومبيو فايبيرا" مبنى المكتبة العامة في مدينة برشلونة

المصدر: https://solarchitecture.ch/wp-content/uploads/2020/11/201022_BIPV_web_V01.pdf

وفي عام ٢٠٠١ استخدم نظام BIPV في تجديد المباني التاريخية، حيث قامت بلدية مدينة "أليس" في فرنسا بإعادة استخدام بقايا كنيسة تعود للقرن الحادي عشر، لإنشاء مكتب سياحي للمدينة، وقام بتصميمه المعماري "جان فرانسوا روجيه"، حيث تم دمج نظام BIPV في الواجهات^(٢)، كما يتضح بالشكل (٣-٤١)، وتم استخدام الألواح الكهروضوئية شبه الشفافة، كجزء من واجهة المبنى بمساحة ١٠٠ م^٢، وتم تركيب زجاج مزدوج عازل للحرارة خلف الألواح، للحفاظ على المحتوى الحراري للمبنى، وينتج النظام طاقة سنوية بمتوسط ٦ ميغا.و.س^(٣).



شكل (٣-٤١) مبنى مكتب السياحة من بقايا مبنى الكنيسة التاريخي في مدينة "أليس" بفرنسا

المصدر: <https://solarchitecture.ch/timeline/tourism-office/>

(1) – Solar architecture. Pompeu Fabra Library.

<https://solarchitecture.ch/timeline/pompeu-fabra-library/>. at 19-8-2023. at 8:30 Pm.

(2) – Energy performance requirements for buildings in Europe. Economidou, Marina. s.l European Commission, 2012.

(3) – Rosa, F. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in Historical Buildings: Opportunities and Constraints. Energies 2020, 13, 3628. doi:10.3390/en13143628.

<https://pdfs.semanticscholar.org/0273/c9edaf75cfe06d046f3f9171f128d92279bf.pdf>. at 19-6-2023. at 8:00 pm.

وفي عام ٢٠٠٢ تم تشييد أول مجمع سكني في المملكة المتحدة باستخدام ألواح BIPV، وهو مجمع "بد زد" بالعاصمة لندن، كما يتضح بالشكل (٣-٤٢)، قام بتصميمه المعماري "بيل دنستر"، ويتكون المشروع من ٨٢ منزل^(١)، حيث تم استخدام ٧٧٧ م^٢ من ألواح الطاقة الكهروضوئية المثبتة في الأسقف والواجهات الجنوبية^(٢)، وينتج المشروع حوالي ١١٪ من استهلاكه للكهرباء، بمعدل ٣ ك.و.س للفرد في اليوم^(٣)، وتم استخدام ثلاث طبقات من الزجاج خلف الألواح للعزل الحراري.



شكل (٣-٤٢) مبنى "بيد زد" بالمملكة المتحدة عام ٢٠٠٢

المصدر: [https://storage.googleapis.com/www.bioregional.com/downloads/The-BedZED-](https://storage.googleapis.com/www.bioregional.com/downloads/The-BedZED-Story_Bioregional_2017.pdf)

[Story_Bioregional_2017.pdf](https://storage.googleapis.com/www.bioregional.com/downloads/The-BedZED-Story_Bioregional_2017.pdf)

وتتدرج الأمثلة السابقة ضمن المرحلة الأولى أو العصر الأول لنظام BIPV، والمعتمد على استخدام ألواح نصف شفافة، أما المرحلة الثانية لنظام BIPV فقد اعتمدت على استخدام الألواح الشفافة والمعتمة بألوان مختلفة، وتزايد الاهتمام بالغة التعبير المعماري للمبنى، وفي عام ٢٠١١ تم استخدام ألواح ملونة نصف شفافة لأول مرة في أسطح المبنى، في مبنى "بيجار" بمدينة "سلامانكا" في إسبانيا^(٤)، حيث تم استخدام ألواح كهروضوئية بمساحة ١٧٦ م^٢ لتكون سطح للمبنى، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٩ ميجا.و.س^(٥)، كما يتضح بالشكل (٣-٤٣).

وفي عام ٢٠١٤ تم استخدام الألواح الملونة لأول مرة في الواجهة، وذلك في مبنى شركة "أوميكرون" بمدينة "كلوس" في النمسا، واستخدمت الألواح بمساحة ٧٨٠ م^٢ في الواجهة الجنوبية الغربية، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٦٦ ميجا.و.س^(٦) كما يتضح بالشكل (٣-٤٤).

وفي عام ٢٠١٧ تم استخدام الألواح المعتمة الملونة لأول مرة في غلاف المباني السكنية، في مبنى "سولاريس" في مدينة زيورخ بسويسرا، حيث تم استخدام الألواح بمساحة ٨١٥ م^٢ في واجهات وأسطح المبنى، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٣٢ ميجا.و.س^(٧)، كما يتضح بالشكل (٣-٤٥). وفي عام ٢٠١٩ تم استخدام النظام في مبنى سكني

(1) – Richard, H. etal. The Environmental Brief: Pathways for Green Design, Taylor and Francis. 2007, p. 44. ISBN 978-0-203-96681-5.

(2) – Corbey, S. "The BedZED lessons". University of East London. 2005.

(3) – Schoon, N. BedZED – the UK's first major sustainable community, THE BEDZED STORY. Bioregional. April 2016. <https://www.bioregional.com/projects-and-services/case-studies/bedzed-the-uks-first-large-scale-eco-village>. at 19-6-2023. at 8:15 Pm.

(4) – Building integrated photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders. Becquerel institute Report 2020.

(5) – Onyex Solar. Photovoltaic Glass for Building. 2020. <https://onyxsolar.com/bejar-market>. at 19-6-2023. at 8:20 Pm.

(6) – EURAC RESEARCH. Omicron Headquarter. Institute for renewable energy. <https://bipv.eurac.edu/en/case-studies/omicron-headquarters.html>. at 3-4-2022. at 3:00 Pm.

(7) – Fries, E. Solaris 416. Solar architecture. <https://solararchitecture.ch/solaris-416/>. at 19-6-2023. at 8:45 Pm.

آخر بمدينة زيورخ"، حيث تم استخدام الألواح بمساحة ٩٠٤ م^٢ في واجهات وأسطح المبنى، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٣٧ ميجا.و.س.^(١)، كما يتضح بالشكل (٣-٤٦).

شكل (٣-٤٣)

مبنى "بيجار" بمدينة

"سلامانكا" بإسبانيا

المصدر:

<https://integratedpv.eurac.edu/en/case-studies/b%C3%A9jar-market.html>



شكل (٣-٤٤)

مبنى "أوميكرون" بمدينة

"كلاوس" في النمسا

المصدر:

<https://integratedpv.eurac.edu/en/case-studies/omicron-headquarter.html>



شكل (٣-٤٥)

مبنى "سولاريس" بمدينة زيورخ

في سويسرا

المصدر:

<https://solararchitecture.ch//solaris-416>



شكل (٣-٤٦)

مبنى سكني بمدينة زيورخ في

سويسرا

المصدر:

<https://solararchitecture.ch/apartment-building-in-zurich-hongg/>



٣-٣ أسلوب عمل نظام BIPV

تطورت تعريفات ومفاهيم نظام BIPV زمنياً كما يلي: -

في البداية تم تعريف النظام على أنه: "مواد كهروضوئية تحل محل مواد البناء التقليدية في بعض أجزاء غلاف المبنى الخارجي، وتدخل بشكل مباشر في تشييده، وتعتبر المصدر الرئيسي أو الإضافي لتوليد الكهرباء في

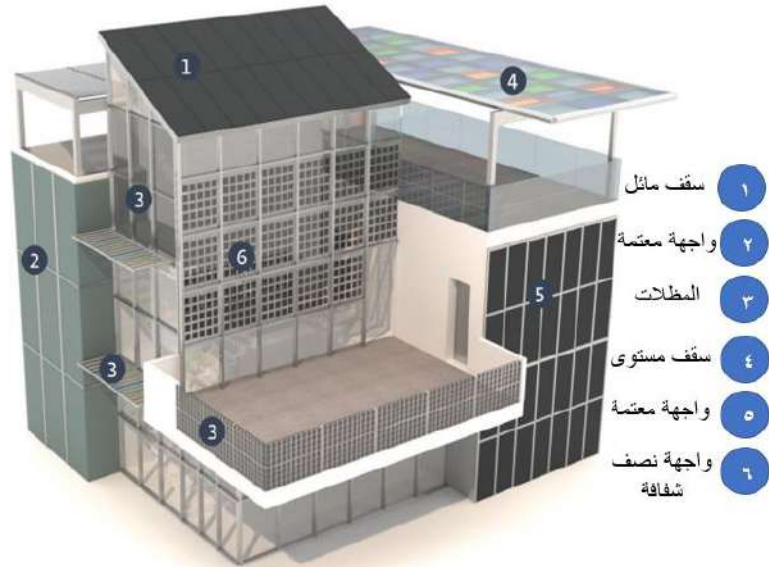
(1) – Kämpfen, B. Apartment building in Zurich – Höngg. Solar architecture.

<https://solararchitecture.ch/apartment-building-in-zurich-hongg/>. at 19-6-2023. at 10:10 Pm.

المبنى^(١). وتعرف الوكالة الدولية للطاقة IEA النظام على إنه: "نظام كهروضوئي يتضمن المكونات اللازمة لإنتاج التيار الكهربائي، وما يشمل من الأنظمة الميكانيكية اللازمة لدمجه في المبنى، ويتم توصيله بشبكة التيار المتردد الداخلية والخارجية^(٢)". وبالتالي يمكن اعتبار النظام خلايا كهروضوئية تشكل مكونات أساسية للمبنى، وتعمل بشكل متكامل مع المبنى لتوليد الكهرباء^(٣). وبناءً على ما سبق يمكن تعريف نظام BIPV على أنه دمج وتكامل الألواح الكهروضوئية مع غلاف المبنى الخارجي، سواء في الأسطح أو الواجهات، ليعمل بدوره كمادة جديدة تحل محل مواد البناء التقليدية، وترفع من كفاءة الغلاف الخارجي، وتعطى لغة تعبير معماري جديدة، وتضيف للمبنى وظيفة جديدة تتمثل في إنتاج الكهرباء.

من حيث المبدأ يمكن استخدام نظام BIPV في جميع أجزاء غلاف المبنى^(٤)، على الرغم من أن الأسطح هي المنطقة المفضلة لتركيب النظام، ولكن توفر الواجهات أيضًا إمكانات واعدة للاستخدام، كما يتضح بالشكل (٣-٤٧). ويعتبر نظام BIPV متكاملًا مع المبنى، إذا كان يوفر وظيفة أو أكثر في المبنى على النحو المحدد في كود منتجات البناء الأوروبية^(٥)، وهذه الوظائف تتمثل فيما يلي:-

- السلامة الإنشائية أو الكفاءة الميكانيكية.
 - الحماية من الحرائق والضوضاء.
 - تشكيل الغلاف الخارجي للمبنى.
 - توفير الأمان والسلامة مثل درابزين الشرفات والسلالم الخارجية.
 - الحماية من العوامل المناخية ومنها العزل الحراري أو عزل الرطوبة للواجهات والأسقف.
- وتتوزع الألواح الكهروضوئية في نظام BIPV بالمبنى في المواضيع التالية، كما يتضح بالشكل (٣-٤٧):-



شكل (٣-٤٧)

مواضع تثبيت ألواح BIPV في المبنى
بتصرف عن المصدر:

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

- (1) – Tabriz, S.N.; Fard, F.; Partovi, N. Review of architectural day lighting analysis of photovoltaic panels of BIPV with zero energy emission approach. Res. J. Appl. Sci. 2016, 11, 735–741.
- (2) – Report IEA-PVPS T15-04, 2018. Photovoltaic Power Systems Program, international definitions of BIPV. 2018.
- (3) – Burgess, D. building-integrated photovoltaics. The encyclopedia Britannica.
<https://www.britannica.com/topic/building-integrated-photovoltaics>. at 21-6-2023. at 11:10 Pm.
- (4) – Simon, R. and Guriento, N. Building Integrated Photovoltaics/a handbook, Birkhäuser, Basel, Switzerland. 2009.
- (5) – IEA PVPS Task 15, Report. Ibid.

٣-٣-١ الأسطح

يمكن تركيب ألواح النظام على أسطح المبنى سواء كانت مستوية أو مائلة، ويتم تثبيت الألواح بشكل مائل أو أفقي حسب شكل السطح، وتوفر الألواح ميزة عزل الحرارة والرطوبة للسطح، كما يتضح بالشكلين (٣-٤٨) و (٣-٤٩). مع مراعاة أن تكون الألواح قدر الإمكان عمودية على أفضل زاوية ميل للشمس في الموقع، وتحقيق أقصى قدرة لتوليد الطاقة^(١). وقد تغطي الألواح كل السطح أو جزء منه، ويمكن أيضاً استخدام الألواح الشفافة أو شبة الشفافة في الفتحات العلوية للسطح Sky Lights^(٢)، ويمكن أن يتخذ السطح شكل Saw Tooth "سن المنشار" لدخول الإضاءة الطبيعية من جهة الشمال، كما يتضح بالشكلين (٣-٥٠) و (٣-٥١).



شكل (٣-٤٨)

تركيب ألواح BIPV بشكل أفقي على سطح
مبنى سكني في زيورخ
المصدر:

<https://solararchitecture.ch/apartments-building-in-zurich-hongg>

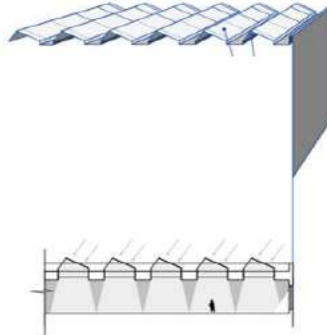


شكل (٣-٤٩) تركيب ألواح BIPV بشكل مائل على الأسطح

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

شكل (٣-٥٠)

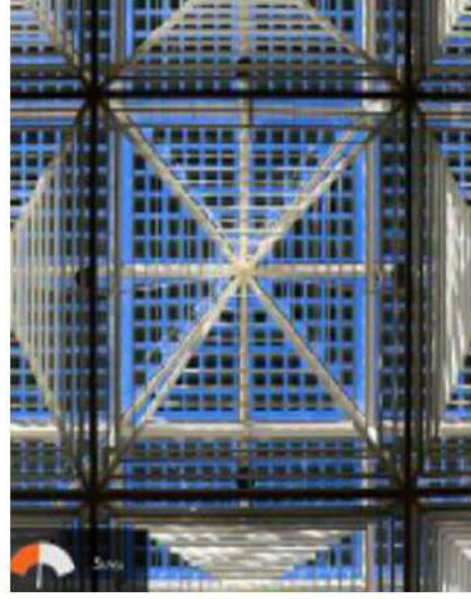
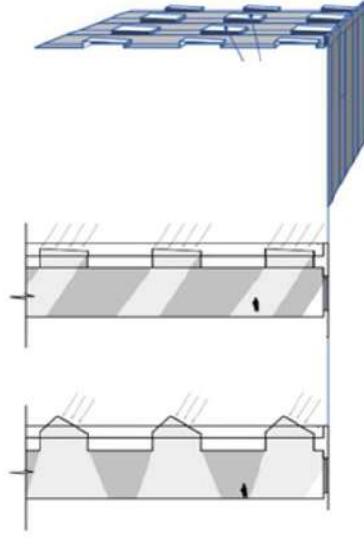
تركيب ألواح BIPV نصف الشفافة
في سطح سن المنشار
بتصرف عن المصدر: Anders,
K. Building integrated
photovoltaics. National
Renewable Energy
Laboratory (NREL). 1993



(1) – Kiss Cathcart Anders, 1993. Building integrated photovoltaics. National Renewable Energy Laboratory (NREL). 1993.

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

شكل (٣-٥١)
تركيب ألواح BIPV نصف الشفافة
في الفتحات العلوية للسطح
بتصرف عن المصدر: Anders,
K. Building integrated
photovoltaics. National
Renewable Energy
Laboratory (NREL). 1993



٣-٣-٢ الواجهات

من وجهة النظر المعمارية تتكون واجهة أي مبنى من المسطحات المصمتة Solid وتتمثل في الجدران التقليدية أو الحوائط الستائرية Curtain Walls، والمسطحات المفرغة Void وتتمثل في الفتحات والنوافذ، وبالتالي يمكن استخدام ألواح النظام بشكل متكامل مع جدران الواجهة، ويمكن استخدام ألواح النظام شبه الشفافة مع نوافذ المبنى^(١)، ويتم تثبيت الألواح على حائط الواجهة من خلال ترك فراغ يتراوح من ١٠ إلى ١٥ سم للتهوية وتمديد الوصلات الكهربائية، ويعمل هذا الفراغ بدوره على عزل الحرارة والرطوبة عن جدار الواجهة، كما يعمل على عزل الصوت عن الفراغ الداخلي^(٢)، ويمكن تركيب الألواح على كافة أنواع الواجهات، سواء كانت تقليدية أو سابقة التصنيع، ويمكن تصنيع وحدات الواجهة سابقة التصنيع بحيث تكون الألواح الكهروضوئية جزءاً مدمجاً معها، سواء كانت هذه الوحدات وحدات تقليدية أو حوائط ستائرية، وهذا الأسلوب في التصنيع يوفر عدة مزايا منها الكفاءة وتقليل وقت التنفيذ، وخفض التكلفة ورفع الجودة^(٣) وليس من الضروري أن تكون جدران الواجهة عمودية، إنما يمكن أن تكون تلك الجدران مائلة أو على شكل سن المنشار^(٤)، كما يتضح بالأشكال من (٣-٥٢) إلى (٣-٥٦)، ويمكن أن تكون جدران الواجهات منحنية كما يتضح بالشكل (٣-٥٧). ويعتبر تكامل النظام مع الواجهات من الحلول الجديدة والمبتكرة لتوليد الطاقة الكهربائية للمبنى، فضلاً عن كونه يتواءم مع أغلب لغات التعبير المعماري الحديثة، ولكن من عيوبه أن الطاقة المولدة من خلال الواجهات تكون أقل من مثلتها في الأسطح.

- (1) – Jelle, B.P. Building integrated photovoltaics: A concise description of the current state of the art and possible research pathways. *Energies* 2016, 9, 21.
- (2) – Eissa, A. etal. Effect of Using Building Integrated Photo Voltaic (BIPV) with the Building Envelope in Changing the Local Architectural Character. *Journal of Engineering Research (ERJ)*. Vol. 7, No 2, 2023. DOI: [10.21608/ERJENG.2023.204157.1170](https://erjeng.journals.ekb.eg/article_296907_a64c8b39a01621d824c9b9308787950e.pdf).
https://erjeng.journals.ekb.eg/article_296907_a64c8b39a01621d824c9b9308787950e.pdf. at 24-6-2023. at 8:00 Pm.
- (3) – Clua Longas, A. etal. Towards Advanced Active Façades: Analysis of façade requirements and development of an innovative construction system. In *Proceedings of the PLEA 2017, Edinburgh, UK, 3-5 July 2017; Volume 1*, pp. 192-199.
- (4) – Heinstein, P. etal. Building integrated photovoltaics (BIPV): Review, potentials, barriers and myths. *Green* 2013, 3, 125-156.

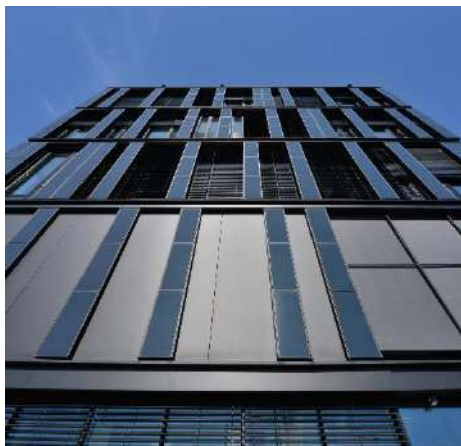


شكل (٥٢-٣) مبنى Hanergy Office، جوانجدونج، الصين، تركيب ألواح BIPV في الجدران التقليدية

المصدر: <https://www.targray.com/solar/bipv>

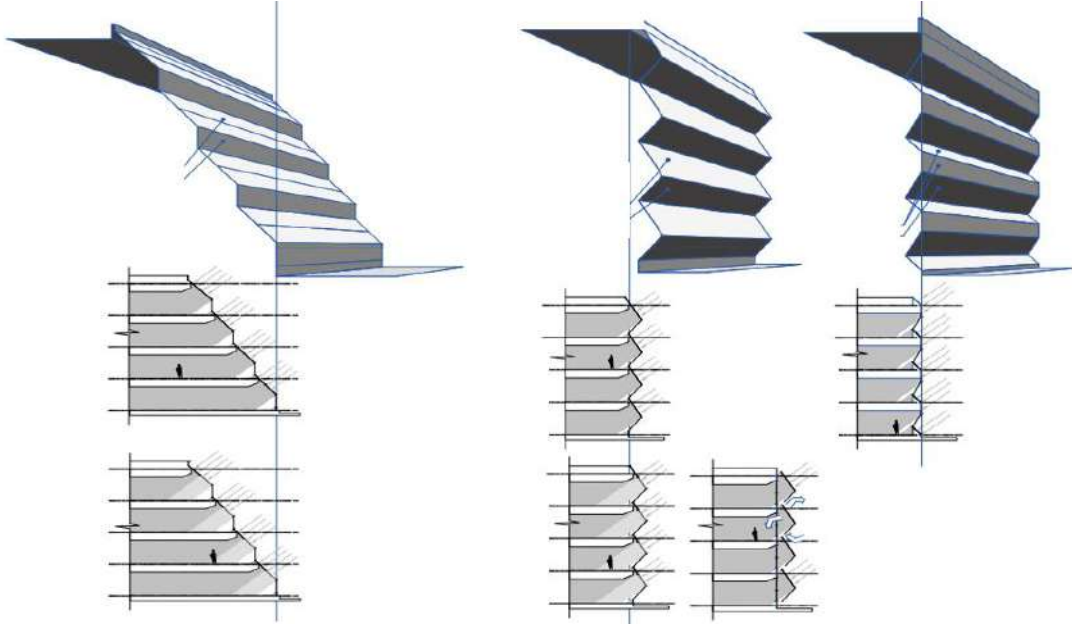
شكل (٥٣-٣)
مشروع مؤسسة "أبي بيير" في
باريس، تركيب ألواح BIPV في
الجدران التقليدية
بتصرف عن المصدر:

<https://www.semanticscholar.org/paper/Building-Integrated-Photovoltaics-Review-Heinstein-Ballif/a3edf866f16c2d3780952befdf47b0146e5f0650/figure/50>

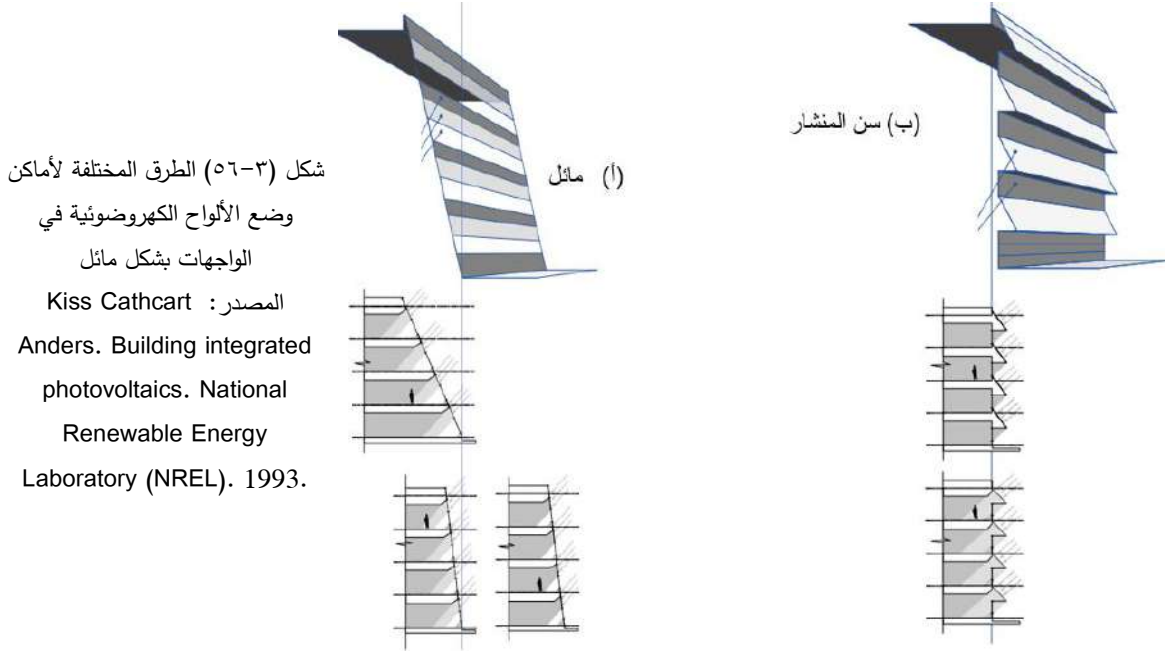


شكل (٥٤-٣) مبنى مركز الأبحاث للطاقة الشمسية والهيدروجين بألمانيا، تركيب ألواح BIPV في الجدران التقليدية

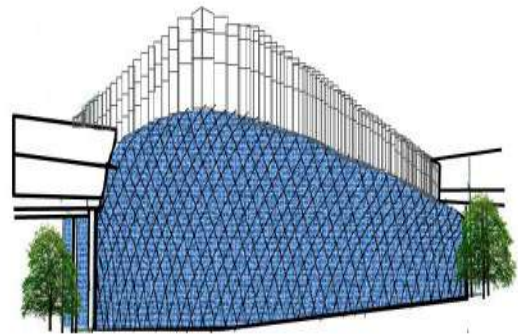
المصدر: <https://transsolar.com/projects/stuttgart-zsw-forschungs-und-verwaltungsgebäude>



شكل (٣-٥٥) الطرق المختلفة لأماكن وضع الألواح الكهروضوئية في الواجهات
المصدر: Kiss Cathcart Anders. Building integrated photovoltaics. National
Renewable Energy Laboratory (NREL). 1993.



شكل (٣-٥٦) الطرق المختلفة لأماكن
وضع الألواح الكهروضوئية في
الواجهات بشكل مائل
المصدر: Kiss Cathcart
Anders. Building integrated
photovoltaics. National
Renewable Energy
Laboratory (NREL). 1993.



شكل (٣-٥٧) مبنى شركة "هانرجي"، ٢٠١٤ بكين، الصين، تركيب ألواح BIPV بطريقة منحنية على الواجهة
المصدر: <https://www.energytrend.com/news/20141030-7665.html>

٣-٣-٣ النوافذ

في ذات السياق لتكامل الألواح الكهروضوئية مع واجهة المبنى يمكن استخدام الألواح نصف الشفافة أو الشفافة كبديلاً عن زجاج النوافذ، بما يسمح بدخول الإضاءة الطبيعية للفراغ الداخلي، وتوفير إطلاله على البيئة الخارجية^(١)، كما يتضح بالشكلين (٣-٥٨) و(٣-٥٩). ومن مزايا هذا الأسلوب أن تكون النوافذ ذات زجاج مزدوج مما يعمل على عزل الحرارة والصوت عن الفراغ الداخلي^(٢)، ولكن من عيوب هذا الأسلوب قلة الطاقة المنتجة من الألواح الشفافة وارتفاع تكلفتها.

شكل (٣-٥٨)
مشروع مؤسسة "تيرينا بالبحر
الأبيض المتوسط" كالابريا،
إيطاليا، تركيب ألواح BIPV في
الزجاج والفتحات
المصدر:

www.onyx solar.com/mediterranean-foundation-terina



شكل (٣-٥٩) مشروع "جراج لينشوينج" بمدينة "سولتيك" في الدنمارك. تركيب ألواح BIPV في الزجاج والفتحات

المصدر: <https://enrj.energy/viel-power-hinter-dieser-solarfassade/>

٣-٣-٤ العناصر الأخرى بالمبنى

يمكن استخدام النظام في أغلب العناصر الخارجية التي تتعرض لأشعة الشمس، مثل المظلات الخارجية، ودرابزينات الشرفات والسلالم الخارجية، والكاسرات الشمسية^(٣)، كما يتضح بالأشكال (٣-٦٠) إلى (٣-٦٤).

- (1) – Roecker, C. etal. Solar Energy Systems in Architecture–integration criteria and guidelines. In International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme. International Energy Agency: Paris, France, 2013.
- (2)– Attoye, D. etal. Ibid.
- (3) – Montoro, D. Vanbuggenhout, P. Ciesielska, J. Building Integrated Photovoltaics: An overview of the existing products and their fields of application. In Report Prepared in the Framework of the European Funded Project; SUNRISE: Saskatoon, Canada, 2011.



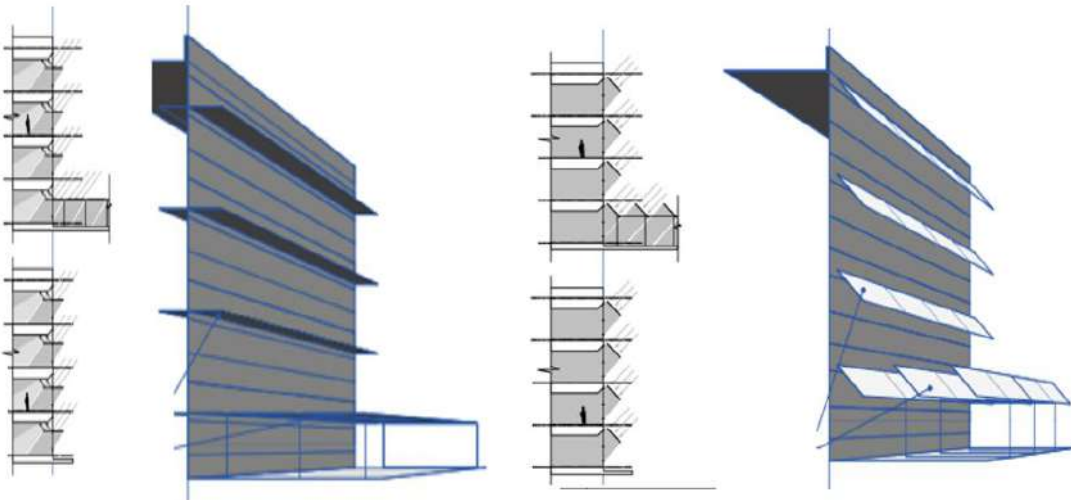
شكل (٦٠-٣) تركيب ألواح BIPV في المظلات الخارجية

المصدر : <https://onyxsolar.com/mcdonald-s-flagship-restaurant>



شكل (٦١-٣) تركيب ألواح BIPV في درابزين الشرفات

المصدر : IEA PVPS Task 15, Report



شكل (٦٢-٣) تركيب ألواح BIPV في الكاسرات الشمسية الأفقية

المصدر : Kiss Cathcart Anders. Building integrated photovoltaics. National Renewable Energy Laboratory (NREL). 1993.

شكل (٣-٦٣)

تركيب ألواح BIPV في الكاسرات الشمسية الرأسية
المصدر:

<https://pdfs.semanticscholar.org/692e/4b6cf167b13b5f3a6da6f458aa361637f213.pdf>



شكل (٣-٦٤) مبنى "كينجز جيت" Kingsgate House، ٢٠١٤ لندن

المصدر: <http://www.lofsolar.com/LofsolarPerformance/londonkingsgatehouse-sustainablehomeslevel4-69.html>

٣-٤ الاعتبارات الإنشائية والميكانيكية

كما سبق الذكر سالفاً تتراوح أبعاد الألواح الكهروضوئية لنظام BIPV من (٦٠٠×٦٠٠ مم) حتى (٤٢٠٠×٢٤٠٠ مم)، ويمكن تحديد وتصنيع أبعاد معينة للوح وفقاً لرؤية المعمارى والرسومات التنفيذية والموديول الإنشائي والمعمارى^(١)، مع مراعاة أنه كلما صغرت أبعاد اللوح زادت تكلفة تثبيته والعكس صحيح، كما يتضح بالشكل (٣-٦٥).

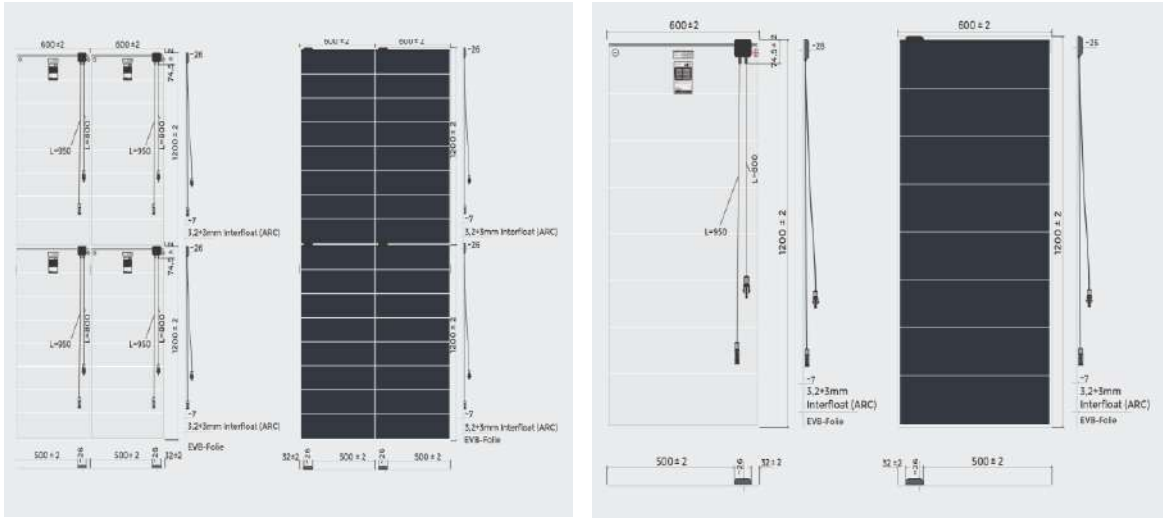
ويتم تثبيت الألواح في الواجهة من خلال شبكة من الدعائم الرأسية والعوارض الأفقية من قطاعات الألومنيوم المؤكسد، التي يتراوح سمكها من ٠,٨ إلى ٣ سم، كما يتضح بالشكل (٣-٦٦) بواسطة قطاعات معدنية مثبتة في خلفية اللوح، حيث يتم تثبيت الدعائم الرأسية مباشرة على جدار الواجهة، وتتراوح المسافة بين كل دعامة والأخرى من ١,٥ إلى ٢ م، كما يتضح بالشكل (٣-٦٧)، ثم يتم تثبيت العوارض الأفقية على الشبكة الرأسية، وتتراوح المسافة بين كل عارضه والأخرى من ١ إلى ١,٢ م، كما يتضح بالشكل (٣-٦٨)، وبعد ذلك يتم تثبيت الألواح الكهروضوئية على العوارض الأفقية. ويتضح تتابع عملية التثبيت في الأشكال من (٣-٦٩) إلى (٣-٧١) بمبنى "ميدلاند كورت" بمدينة ميدلاند بكندا، حيث استخدم المبنى ٩٣٠ م^٢ من ألواح BIPV ذات الشكل الخشبي على الواجهات لينتج النظام طاقة سنوية بمقدار ٧٠ ميجا.و.س^(٢). ومن خلال نظام تثبيت الألواح السابق ذكره ينتج فراغ بين الألواح وجدار الواجهة يتراوح

(1) – Photovoltaic systems for facades and roofs. Nice solar energy, Germany.2019.

(2) – Mitrex Building Integrated Solar Technology. Project Report Midland Court House.

<https://mitrex.com/solar-facade/#pane-2>. at 2-9-2023. at 8:00 Pm.

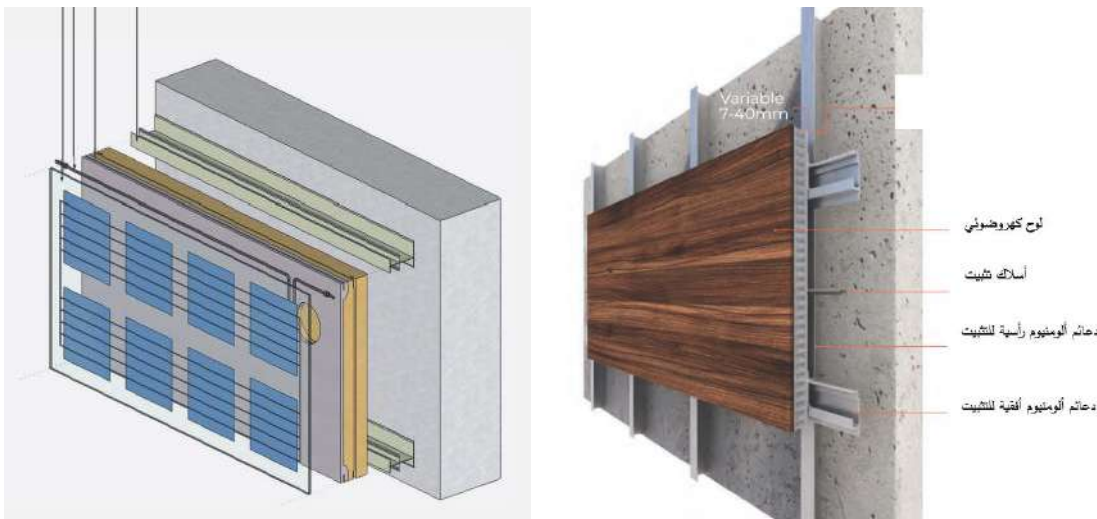
بعده من ١٠ إلى ١٥ سم كما سبق الذكر، وهذا الفراغ فضلاً عن قدرته على عزل الحرارة عن جدار الواجهة، تتمثل وظيفته الأساسية في تهوية السطح الخلفي للألواح وخفض درجة حرارتها، حيث أن التعرض لأشعة الشمس يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الألواح، وبالتالي يعمل هذا الفراغ على التخلص من الأحمال الحرارية الإضافية التي قد تؤثر على الألواح الكهروضوئية، ومن ثم تقليل كفاءة النظام، حيث تتمثل أهم اعتبارات الأمان للنظام المرتبطة بالنظام الإنشائي والميكانيكي في الأجهاد الحراري، حيث تتمدد مواد البناء والألواح الكهروضوئية بمعدلات مختلفة عند تعرضها لحرارة الشمس، ولذلك يجب مراعاة هذا التمدد والانكماش أثناء تثبيت النظام، وأيضاً يعمل الفراغ بين الألواح وجدار الواجهة على استيعاب الوصلات والكابلات الكهربائية الخاصة بالألواح، والتي يتم تمديدها على جدار الواجهة^(١)، ثم يتم تجميع هذه الكابلات الفرعية ضمن كابل رئيسي يتصل بالمحول الكهربائي Inverter الخاص بالمبنى، وفي بعض الأحيان قد يحتوى المبنى على عدة محولات.



شكل (٣-٦٥) شكل وأبعاد لوح BIPV (١٢٠٠X٦٠٠ مم) من الأمام والخلف

المصدر: <https://www.greenwillenergy.com/solar-panel/?gclid=EA1a1QobChMIhb3R->

[pL1gAMVcpNoCR2BhgloEAAYASAAEgKBnvD_BwE](https://www.greenwillenergy.com/solar-panel/?gclid=EA1a1QobChMIhb3R-pL1gAMVcpNoCR2BhgloEAAYASAAEgKBnvD_BwE)



شكل (٣-٦٦) سماكة قطاعات الألومنيوم المستخدمة لتثبيت النظام

بتصرف عن المصدر: <https://mitrex.com/solar-facade/#pane-2>

(1) – Kiss Cathcart Anders, 1993. Building integrated photovoltaics. National Renewable Energy Laboratory (NREL). 1993.



شكل (٦٨-٣) طريقة تثبيت المرحلة الثانية العوارض الأفقية على جدار الواجهة

المصدر: <https://mitrex.com/solar-facade/#pane-2>



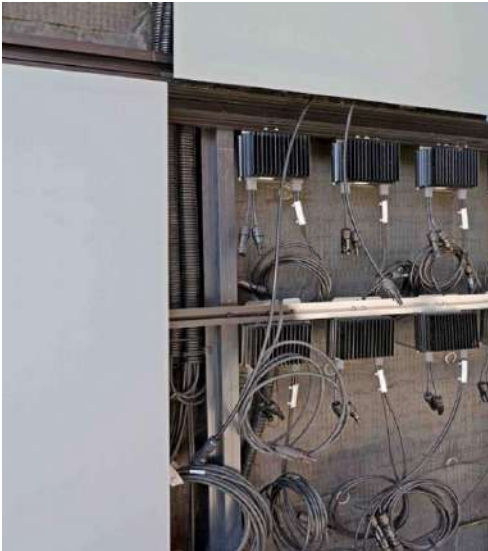
شكل (٦٧-٣) طريقة تثبيت المرحلة الأولى الدعائم الرأسية على جدار الواجهة

المصدر: <https://mitrex.com/solar-facade/#pane-2>



شكل (٦٩-٣) طريقة تثبيت المرحلة الثالثة الألواح الكهروضوئية على العوارض الأفقية بجدار الواجهة

المصدر: <https://mitrex.com/solar-facade/#pane-2>



شكل (٧٠-٣) تفاصيل تثبيت نظام BIPV على جدار الواجهة

بتصرف عن المصدر: <https://mitrex.com/solar-facade/#pane-2>



شكل (٣-٧١)

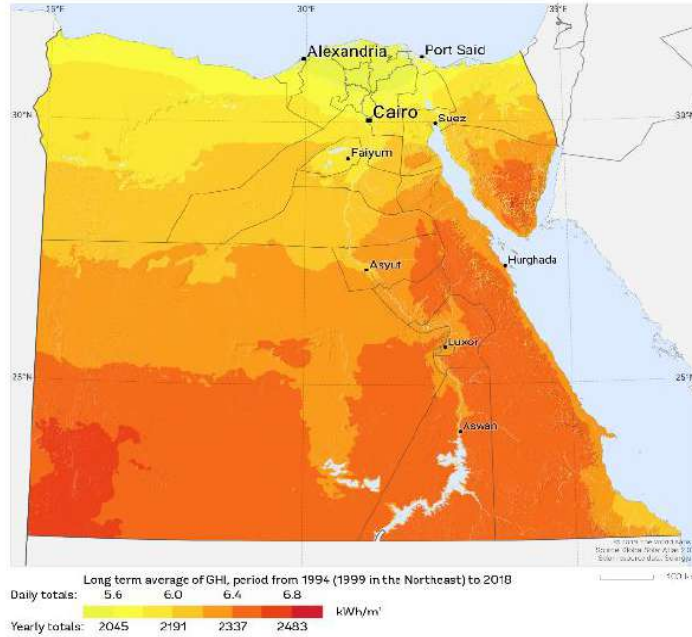
مبنى "ميدلاند كورت" بمدينة ميدلاند بكندا
المصدر:

https://mitrex.com/wp-content/uploads/2023/08/D.-Mitrex-Project-Report-Midland-Courthouse-223-D_230623.pdf

٣-٥ الاعتبارات المناخية

تتمثل أهم الاعتبارات المناخية المؤثرة على تصميم نظام BIPV فيما يلي:-

- **السطوع الشمسي:** ويرتبط ارتباط وثيق بموقع البناء على إحداثيات خطوط العرض، والذي يحدد مقدار الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح وزاوية ميل الشمس، وبالتالي متوسط الطاقة الكهربائية الناتجة، وزاوية ميل الألواح المثبتة على السطح، ويتراوح متوسط الإشعاع الشمسي العمودي المباشر في مصر بين ٥,٦ إلى ٦,٨ ك.و.س/م^٢، كما يتضح بالشكل (٣-٧٢).



شكل (٣-٧٢)

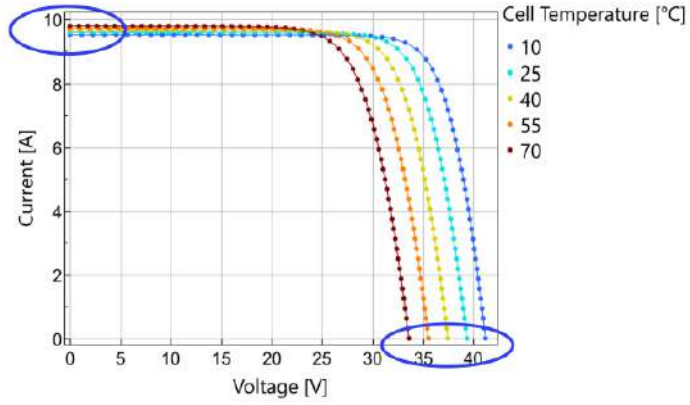
معدل الإشعاع الشمسي ك.و.س/م^٢
في مصر

المصدر:

<https://globalsolaratlas.info/download/egypt>

- **متوسط درجات الحرارة:** تعتبر درجة الحرارة المثالية لعمل النظام ٢٥ °، فإذا زادت درجة الحرارة عن تلك الدرجة تنخفض كفاءة النظام بنسبة تتراوح من ٠,٣% إلى ٠,٥% لكل درجة مئوية، ولذلك لابد من عمل نظام تهوية، كما يتضح بالشكل (٣-٧٣). ويعمل الفراغ ما بين الألواح وجدران الواجهة السابق ذكره على تهوية السطح الخلفي للألواح، كما يعمل على عزل الحرارة عن الفراغ الداخلي للمبنى، من خلال مرور الهواء في هذا الفراغ^(١)، كما يتضح بالشكل (٣-٧٤).

(1) – Agathokleous, R. Kalogirou, S. Part I: Thermal analysis of naturally ventilated BIPV system: Experimental investigation and convective heat transfer coefficients estimation. Solar Energy 169 (2018) 673–681.
www.elsevier.com/locate/solener



شكل (٧٣-٣)

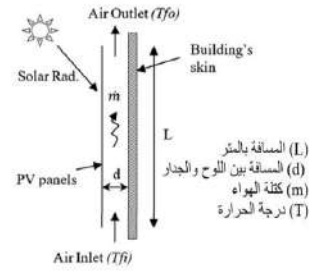
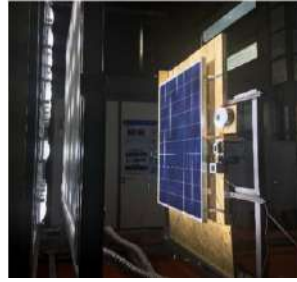
تأثير زيادة درجة الحرارة على كفاءة النظام
المصدر:

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency>

شكل (٧٤-٣)

توصيله للفراغ بين ألواح BIPV وجدار الواجهة
المصدر:

Agathokleous, R. Kalogirou, S. Part
I. Ibid.



- معدل سقوط الأمطار: يتضح هذا الأثر في مدى إمكانية عزل جدران الواجهة من عدمه، من خلال تأثير الوصلات الكهربائية للألواح بالمياه، مما قد يؤدي إلى تلف النظام، فكلما زاد معدل سقوط الأمطار يجب الاهتمام بوجود وصلات مطاطية بين الألواح لمنع تسرب المياه خلف الألواح، وفي المناطق المناخية الباردة التي قد تتكون بها طبقات من الجليد يجب أن يكون تثبيت الألواح بشكل مائل يسمح بانزلاق طبقات الجليد من عليها^(١)، كما يتضح بالشكل (٧٥-٣).

شكل (٧٥-٣)

اختبارات سقوط المياه على ألواح BIPV لقياس
مدى كفاءتها لعدم التسريب
المصدر:

IEA PVPS Task 15, Report.

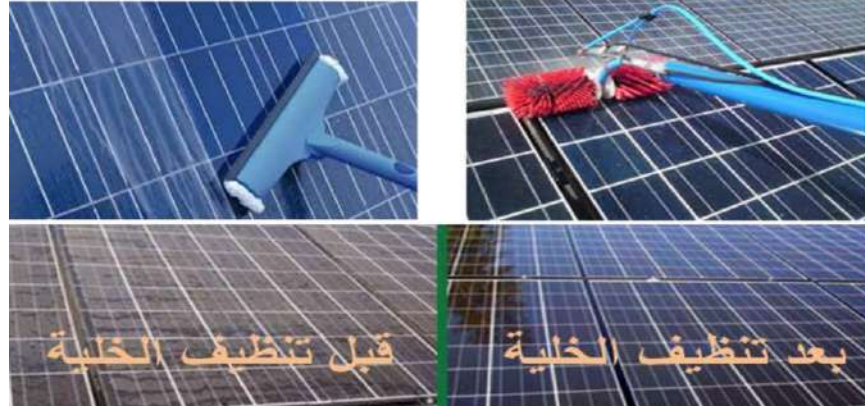


- نسبة الغبار والأترربة في الجو: يمكن أن تؤثر على مدى قوة الشعاع الشمسي الساقط على اللوح، حيث إن ٥٠% من فعالية الطاقة الكهروضوئية تفقد في حالة وجود جسيمات الغبار في الجو، وعدم نظافة الألواح، وتتمثل أفضل طريقة للتخلص من الغبار من خلال التنظيف المستمر على فترات لا تتجاوز ثلاثة أيام، وتختلف أساليب التنظيف حسب طبيعة كل من الموقع والمبنى، وتتمثل أهم هذه الأساليب فيما يلي: -
أ. التنظيف اليدوي: تستخدم في المباني الصغيرة بواسطة فرش تنظيف ويتراوح ارتفاع مقابضها من ٧ إلى ١٤ م والمياه العادية^(٢)، كما يتضح بالشكلين (٧٦-٣) و(٧٧-٣).

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

(2) – Wanner, N. NEW ACCESSORIES FOR CLEANING FAÇADES AND SOLAR POWER INSTALLATIONS. Kärcher. at 5-10-2020.

<https://www.kaercher.com/int/inside-kaercher/company/media-information/media-information/2169-new-accessories-for-cleaning-facades-and-solar-power-installations.html>. at 2:00. at 19-7-2022.



شكل (٧٦-٣)
نظافة الخلية الكهروضوئية لعمل
الصيانة الدورية
المصدر: كاميليا محمد



شكل (٧٧-٣)
نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام
أجهزة يدوياً لتنظيف الواجهات
المصدر:
<https://www.kaercher.com/in-t/inside-kaercher/company/media-information/media-information/2169-new-accessories-for-cleaning-facades-and-solar-power-installations.html>

ب. **التنظيف نصف الآلي:** يستخدم في المباني متوسطة الحجم، ويتكون جهاز التنظيف من رؤوس دوارة تحتوي على فرشاه يتم ضخ المياه من خلالها، ويتم تركيب جهاز التنظيف مباشرة على الألواح في بداية كل صف منها، ويبدأ الجهاز في العمل في اتجاه واحد ألياً، ويوجد حساسات استشعار بالجهاز في نهاية صف الألواح، ليعود الجهاز إلى بداية الصف ألياً، ويتم نقل الجهاز إلى الصف الأخر يدوياً بواسطة عمال يقومون بالفك والتركيب، كما يتضح بالشكل (٧٨-٣).



شكل (٧٨-٣)
نظافة الخلية الكهروضوئية
بشكل نصف آلي
المصدر:
<https://solarabic.com/learn/2019/04/solar-pv-panels-cleaning>

ج. **التنظيف الآلي:** يستخدم في المباني كبيرة الحجم، وتعتمد فكرته على نفس فكرة عمل النظام السابق، ولكن يتم تخصيص موضع للجهاز في بداية كل صف من الألواح، بحيث لا يترك الجهاز ظلاً على الألواح، ويبقى فيه عندما لا يعمل وينطلق منه عندما يعمل، ويكون الجهاز مبرمجاً لتنظيف كل صف من الألواح على حدة، ويزود

الجهاز بحساسات لتتبع حالة الطقس لتجنب العمل في أوقات المطر الغزير والعواصف، ويستمد الجهاز طاقته من بطارية مدمجة به أو من الطاقة الكهربائية المولدة من الألواح^(١)، كما يتضح بالشكلين (٣-٧٩) و(٣-٨٠). وتوجد أنماط من أنظمة التنظيف الآلي تعتمد على تقنية "نوماد" NOMADD، التي تستخدم ضغط الهواء في التنظيف بدلاً من المياه^(٢)، ويفضل استخدام هذه التقنية في المناطق الصحراوية، مما يجعله من البدائل المحافضة على البيئة^(٣)، كما يتضح بالشكل (٣-٨١).

شكل (٣-٧٩)
نظافة الخلية الكهروضوئية آلياً
المصدر:

<https://solarabic.com/learn/2019/04/solar-pv-panels-cleaning>



شكل (٣-٨٠)
نظافة الخلية الكهروضوئية آلياً
بواسطة جهاز التنظيف الذي يعمل
بالطاقة الكهروضوئية
المصدر:

<https://solarabic.com/learn/2019/04/solar-pv-panels-cleaning>



شكل (٣-٨١)
نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام
تقنية نوماد من خلال ضغط الهواء
المصدر:

<https://www.nomaddesertsolar.com/about.html>



(١) - حنا ندروس. تنظيف الألواح الشمسية الكهروضوئية. موقع سولارابيك. ٢٠٠٤-٤-٢٠١٩.

<https://solarabic.com/learn/2019/04/solar-pv-panels-cleaning/>. at 12:30. at 19-7-2022.

(٢) - نوماد حلول الطاقة الشمسية. تقرير التقنيات.

http://www.nomaddesertsolar.com/uploads/2/5/0/5/25058056/nomadd_datasheet.pdf. at 1:15. at 19-7-2022.

(٣) - نوماد حلول الطاقة الشمسية.

<https://www.nomaddesertsolar.com/about.html>. at 1:35. at 19-7-2022.

د. التنظيف من خلال الروبوت (Robotics): وتستخدم في المباني كبيرة الحجم، وهي عبارة عن أجهزة تنظيف تشغل مسطح لا يتجاوز 1 م²، وتتحرك على كامل مسطح الألواح بشكل آلي في جميع الاتجاهات⁽¹⁾، وتعتمد على تقنية الذكاء الاصطناعي، من خلال مجموعة من المستشعرات للتعرف على بدايات ونهايات صفوف الألواح، ويمكن التحكم في نظام التنظيف عن بعد⁽²⁾، كما يتضح بالشكلين (3-82) و(3-83).

شكل (3-82)

نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام
أجهزة التنظيف المحمولة
المصدر:

<https://solarabic.com/learn/2019/04/solar-pv-panels-cleaning>



شكل (3-83)

نظافة الخلية الكهروضوئية باستخدام
أجهزة تنظيف آليه للواجهات
المصدر:

<https://insights.rlist.io/p/report-pt-1-floor-facade-and-solar.html>



○ سرعة الرياح: فضلاً عن ارتباط ارتفاع المبنى بالإجهادات والأحمال المرتبطة بسرعة الرياح المحلية Wind Load، تكون أحمال الرياح ذات أثر كبير على ألواح النظام، فكلما زاد ارتفاع المبنى زاد حمل الرياح على الألواح الكهروضوئية، مما يجب مراعاته في نظام تثبيت هذه الألواح على جدران المبنى⁽³⁾.

٦-٣ الاعتبارات البيئية

لا ينبغي أن يقتصر تقييم الفوائد البيئية لنظام BIPV المعتمد على الألواح الكهروضوئية في المباني على انخفاض الطلب على الطاقة التقليدية، حيث ستشمل التكلفة البيئية الكاملة للمنتج القضايا التالية⁽⁴⁾ ومنها:-

○ التخلص من الألواح المكسورة أو المستبدلة: قد تحتوي بعض الألواح الكهروضوئية على معادن ثقيلة أو مواد أخرى تكون من الصعب التخلص منها مثل الوحدات المرفوضة أو التالفة أثناء التصنيع، ومع انتشار نظام BIPV يجب النظر في التخطيط السليم للتخلص من هذه الألواح وإعادة تدويرها.

(1) – Gerald, Y. Smart Buildings Report 1 (Cont'd): 2020 Floor Cleaning Robots, Facade Cleaning Robots and Solar Panel Cleaning Robots. INSights News. at 19-8-2020.

<https://insights.rlist.io/p/report-pt-1-floor-facade-and-solar.html>. at 2:14. at 19-7-2022.

(٢) - حنا ندروس. تنظيف الألواح الشمسية الكهروضوئية. موقع سولارابيك. ٢٠١٩-٤-٢٠.

<https://solarabic.com/learn/2019/04/solar-pv-panels-cleaning/>. at 12:30. at 19-7-2022.

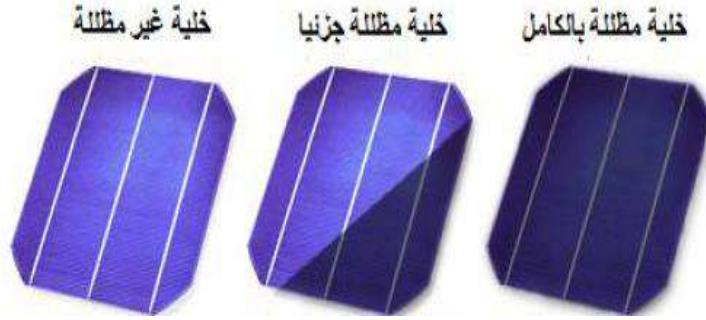
(3) – Kiss Cathcart Anders, ibid. 1993.

(4) – Kiss Cathcart Anders, ibid. 1993.

- المواد الخطرة المستخدمة أثناء التصنيع: يتم إنتاج بعض الألواح الكهروضوئية باستخدام مواد خطيرة أو سامة قد تشكل تهديداً بيئياً محلياً أثناء التصنيع مما يستدعي التفكير في كيفية التخلص منها بطريقة علمية صحيحة.
- الطاقة المستهلكة في تصنيع الألواح: يجب أن يتضمن تحليل كفاءة الطاقة للألواح الكهروضوئية الطاقة المستهلكة في تصنيع المنتج.

٣-٧ الاعتبارات المعمارية

- يمكن التنبؤ بمجموعة من الاعتبارات المعمارية التي يمكن أن تؤثر وتتأثر باستخدام نظام BIPV، وسيقوم البحث بدراسة بعض هذه الاعتبارات بالتفصيل في الفصول اللاحقة أثناء الدراسة التطبيقية، تتمثل أهم هذه الاعتبارات فيما يلي :-
- اعتبارات الموقع: كما سيتم ذكره لاحقاً في فصل محددات الموقع العام.
- الظلال: إن الإشعاع الشمسي هو الوقود الأساسي للخلايا الكهروضوئية وبالتالي لاستخدام نظام BIPV، لذلك عند وجود مانع أو حائل في مسار الشعاع الشمسي مثل (السحب، الأشجار، المباني المجاورة، ... إلخ) فإنه يسبب إلقاء ظلال على الخلايا الكهروضوئية، مما ينتج عنه انخفاض كفاءة النظام بدرجة كبيرة أو على أسوأ الظروف توقفه عن العمل، كما يتضح بالشكل (٣-٨٤).



شكل (٣-٨٤)

تأثير الظل على خصائص الخلية (التيار والجهد)
المصدر: كاميليا محمد

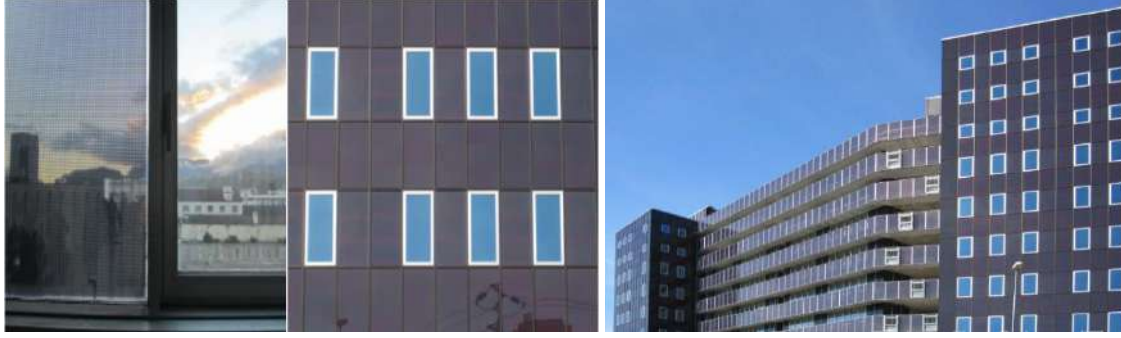
- نوعية المبنى: تختلف نوعية المبنى من حيث كونها منشآت سكنية أو عامة، من حيث إنتاجية الطاقة، وإمكانية وسهولة صيانة ونظافة النظام.
- لغة التعبير المعماري: كما سيتم ذكره لاحقاً في فصل المحددات التعبيرية.
- تطوير المنتج: يمثل استخدام النظام تحدياً للعديد من المهن والمنظمات في صناعة البناء، وذلك من خلال تطوير أساليب جديدة وابتكار نوعيات من الألواح أكثر إنتاجاً للطاقة، مما يستدعي تركيز الجهود البحثية في هذا المضمار.

٣-٨ التطبيق الفعلي لنظام BIPV في العمارة

تركزت الاعمال المعمارية المعتمدة على نظام BIPV بشكل أساسي في قارة أوروبا منذ بداية الألفية الثالثة، بسبب عدم وجود مصادر للنفط والغاز الطبيعي تغطي استهلاكها، واعتمادها بشكل أساسي على خطوط الغاز الروسية والنفط العربي، أما الولايات المتحدة مازال يوجد لديها مخزون وافر من مصادر النفط والغاز الطبيعي، وقد تنوعت هذه الأمثلة ما بين منشآت حديثة، ومنشآت معاد تجديدها، فيما يلي: -

٣-٨-١ الأعمال المعمارية المستحدثة المعتمدة على نظام BIPV

أ. مبنى مكاتب "إنزون" Enzian بمدينة بولزانو بإقليم ترينتينو شمال إيطاليا، تم بناء المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٢، بواسطة المعماري "زينو بامبي"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون البني في واجهات المبنى على مسطح ٢٣٤٠م^٢، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى (١٠٢٠×٢٦٦م)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ١١٣ ميجا.و.س، تغطي كامل استهلاكه، كما يتضح بالشكل (٣-٨٥).



شكل (٨٥-٣) الواجهة الجنوبية لمبنى مكاتب "إينزون" بشمال إيطاليا

المصدر: IEA PVPS Task 15, Report

ب. مبنى مكاتب "سولس مارجدين" Solsmaragden بمدينة درامين بالنرويج، تم بناء المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٥، بواسطة المعماريين "لوف وإنجيبجورج لين"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون الأخضر في واجهات وسطح المبنى على مسطح ١٢٤٢م^٢، وتتعدد مقاسات الألواح إلى ٢٦ مقاس مختلف، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى من (٥٩٠ × ٩٦٠ مم) و(٥٩٠ × ٢٧٩٠ مم)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ١٠٦ ميغا و.س، وتغطي ٢٣٪ من استهلاكه، كما يتضح بالشكل (٨٦-٣).



شكل (٨٦-٣) الواجهة الجنوبية الغربية لمبنى مكاتب "سولس مارجدين" بمدينة درامين بالنرويج

المصدر: IEA PVPS Task 15, Report

ج. مبنى مدرسة كوبنهاجن الدولية (DK) Copenhagen International School في الدنمارك، تم بناء المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٧، بواسطة المعماري "مولر"، تم استخدام ١٢ ألف من الألواح الكهروضوئية ذات اللون الأزرق في واجهات المبنى على مسطح ٦٠٠٠م^٢، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى (٧٠٠ × ٧٠٠ مم)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٢٠٠ ميغا و.س، وتغطي ٥٠٪ من استهلاكه، كما يتضح بالشكل (٨٧-٣).



شكل (٨٧-٣) مبنى مدرسة كوبنهاجن بالدنمارك

المصدر: <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller>

د. مبنى سكني "سولارسيلو" في زيورخ سويسرا، تم بناء المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٧، بواسطة المعماري "هجين بيرجر فريس"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون البني في واجهات وسطح المبنى على مسطح ٨١٥ م^٢، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٣٢ ميغا و.س، وتغطي ٤٧٪ من استهلاكه، كما يتضح بالشكل (٨٨-٣).



شكل (٨٨-٣) مبنى سكني "سولارسيلو" بمدينة زيورخ في سويسرا

المصدر: [/https://solararchitecture.ch/solaris-416](https://solararchitecture.ch/solaris-416)

ه. مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا، تم بناء المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٧، بواسطة المعماريين "رينيه شميد وأي جي"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون الرمادي في واجهات المبنى على مسطح ١٣٢٣ م^٢، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٢١ ميغا و.س، وتغطي ٣٩٪ من استهلاكه، كما يتضح بالشكل (٨٩-٣).



شكل (٨٩-٣) مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا

المصدر: [/https://solararchitecture.ch/rene-schmid-architekten-ag-project-in-zwirnerstrasse](https://solararchitecture.ch/rene-schmid-architekten-ag-project-in-zwirnerstrasse)

و. مبنى سكني اجتماعي بمدينة "بيست" بهولندا، تم بناء المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٨، بواسطة المكتب المعماري NB، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون الأسود في واجهات ودرابزينات الشرفات بالمبنى على مسطح ٧٥٠ م^٢ في الواجهات و ٥٠٠ م^٢ في درابزينات الشرفات، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى (٦٥٦ × ١٦٥٦م)، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٢٥٠ ك.و.س، كما يتضح بالشكل (٩٠-٣).

شكل (٣-٩٠)

مبنى سكني اجتماعي بمدينة

"بيست" بهولندا

المصدر:

IEA PVPS Task 15,

Report



ز. مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا، تم بناء المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٩، بواسطة المعماري "كوفين"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون البني في واجهات وسطح المبنى على مسطح ٩٠٤ م^٢، وينتج المبنى طاقة سنوياً بمتوسط ٣٧ ميغا.و.س، وتغطي ٢٦٪ من استهلاكه، كما يتضح بالشكل (٣-٩١).



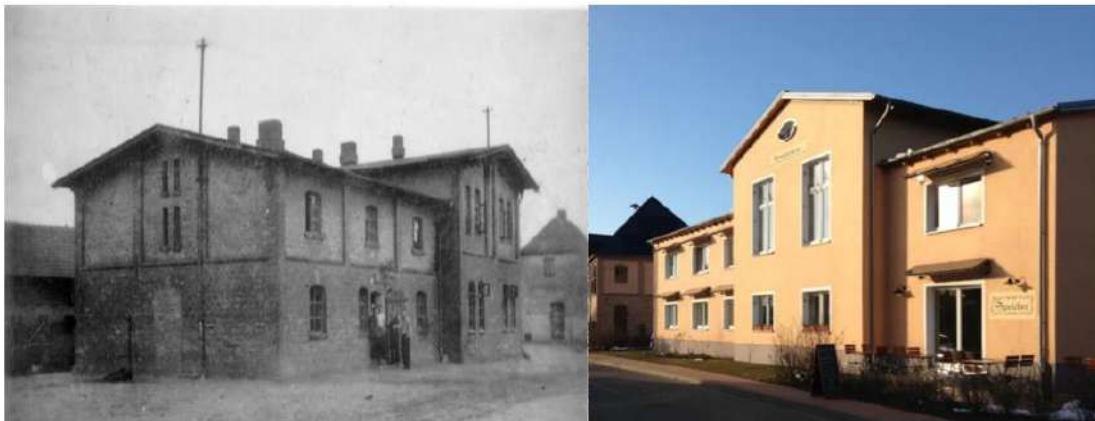
شكل (٣-٩١) مبنى سكني بمدينة زيورخ في سويسرا

المصدر: <https://solarchitecture.ch/apartment-building-in-zurich-hongg>

٣-٨-٢ أمثلة المباني المعاد تجديدها بنظام BIPV

بدا استخدام نظام BIPV في إعادة تجديد المباني القائمة، سواء كانت منشآت عامة أو سكنية، منذ عام ٢٠١٥ وتمثلت أوضح هذه الأعمال وتتابعته زمنياً كما يلي: -

أ. مبنى سكني "شنيتر هاوس" بقرية "نيشلين" شرق ألمانيا، تم البناء الأصلي عام ١٩٤٦، وتم تجديد المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٥، تم استخدام الألواح الكهروضوئية في سطح المبنى والصلب الخارجية للنوافذ والمظلات التي تعلق اعقاب النوافذ، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى (١٠٣٥×٧١٠ مم) و(٢٤٤٥×٧١٠ مم)، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ١١٦٠ ك.و.س، كما يتضح بالأشكال (٣-٩٢) إلى (٣-٩٤).



شكل (٣-٩٢) -المبنى قبل التجديد- إعادة تجديد مبنى سكني "شنيترهاوس" بقرية "نيشلين" شرق ألمانيا

المصدر: <https://www.astrid-schneider.de/de/architektur/schnitterhaus-nechlin>



شكل (٣-٩٣) المبنى بعد التجديد

المصدر: [/https://www.astrid-schneider.de/de/architektur/schnitterhaus-nechlin](https://www.astrid-schneider.de/de/architektur/schnitterhaus-nechlin)



- (أ) تقصيله الألواح وهي مغلقة تماماً في النافذة
 (ب) تقصيله الألواح وهي مفتوحة جزئياً في النافذة للتهوية من الداخل
 (ج) تقصيله الألواح وهي مفتوحة جزئياً في النافذة للتهوية من الخارج

شكل (٣-٩٤) بعض تفاصيل تركيب الألواح على النوافذ وكيفية الفتح والغلق لها لتوليد الطاقة والتهوية

المصدر: [/https://www.astrid-schneider.de/de/architektur/schnitterhaus-nechlin](https://www.astrid-schneider.de/de/architektur/schnitterhaus-nechlin)

ب. مبنى مكاتب "سيمات" CIEMAT بمدينة مدريد بإسبانيا، تم البناء الأصلي في ستينات القرن الماضي، وتم تجديد المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٥، بواسطة المعماري "خوان كارلوس جوتيريز جارسيا"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون الأسود في واجهة المبنى على مسطح ١٧٣م^٢، وتبلغ أبعاد الألواح المستخدمة في المبنى (١٠٤٦×١٥٥٩ مم)، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٢٠ ميجا.و.س، تغطي كامل استهلاك المبنى، كما يتضح بالشكلين (٣-٩٥) و(٣-٩٦).

شكل (٣-٩٥)

المبنى قبل التجديد وإعادة تجديد مبنى

مكاتب "سيمات" بمدريد إسبانيا

المصدر:

IEA PVPS Task 15, Report





شكل (٩٦-٣)
المبنى بعد التجديد وإعادة تجديد مبنى
مكاتب "سيمات" بمدريد إسبانيا
المصدر:
IEA PVPS Task 15, Report

ج. مبنى سكني بمدينة زيورخ بسويسرا، تم البناء الأصلي في عام ١٩٨٢، وتم تجديد المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٦، بواسطة المعماري "كارل فيردين"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون الرمادي في واجهات وأسطح المبنى على مسطح ٢٨٧٠م^٢، وتم تثبيت ١٥٤٥ لوح كهروضوئي بمقاسات مختلفة، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٨٢ ميجا.و.س، وتغطي ٩٨٪ من استهلاكه، كما يتضح بالشكلين (٩٧-٣) و(٩٨-٣).



شكل (٩٧-٣)
المبنى قبل التجديد، مبنى
سكني بمدينة زيورخ بسويسرا
المصدر:
<https://solararchitecture.ch/residential-building-renaissance>



شكل (٩٨-٣)
المبنى بعد التجديد، مبنى
سكني بمدينة زيورخ بسويسرا
المصدر:
<https://solararchitecture.ch/residential-building-renaissance>

د. مبنى مكاتب بمدينة بيرن بسويسرا، تم البناء الأصلي في ثمانينات القرن الماضي، وتم تجديد المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٧، بواسطة المعماري "دانيل ماير"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية على الكاسرات الرأسية بواجهات المبنى على مسطح ١٢٣٨٤م^٢، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ١٢ ميجا.و.س، وتغطي ٤٠٪ من استهلاكه، كما يتضح بالشكلين (٣-٩٩) و(٣-١٠٠).



شكل (٣-٩٩)

المبنى قبل التجديد، مبنى مكاتب
بمدينة بيرن بسويسرا
المصدر:

<https://solararchitecture.ch/die//--mobiliar-renovation>



شكل (٣-١٠٠)

المبنى بعد التجديد، مبنى مكاتب
بمدينة بيرن بسويسرا
المصدر:

<https://solararchitecture.ch/die//--mobiliar-renovation>

هـ. مبنى سكني جامعي بمدينة "سلاجيس" بالدنمارك، تم البناء الأصلي في سبعينات القرن الماضي، وتم تجديد المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٧، بواسطة المعماري "كانت"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون الرمادي في الواجهة الجنوبية للمبنى على مسطح ١٥٠م^٢، وعلى درابزين شرفات المبنى على مسطح ٤٠م^٢، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٢٧ ميجا.و.س، كما يتضح بالشكلين (٣-١٠١) و(٣-١٠٢).



شكل (٣-١٠١)

المبنى قبل التجديد، مبنى سكني
جامعي بمدينة "سلاجيس" بالدنمارك
المصدر:

IEA PVPS Task 15, Report

شكل (١٠٢-٣) مبنى بعد التجديد، مبنى سكني جامعي بمدينة "سلاجيس" بالدنمارك
المصدر:
IEA PVPS Task 15, Report



وبدا استخدام نظام BIPV محلياً في إعادة تجديد مباني المنشآت العامة القائمة، وتمثلت أوضح هذه الأعمال في مبنى بنك CIB بالقرية الذكية بمدينة السادس من أكتوبر، تم البناء الأصلي في بدايات العقد الأول من الألفية الثالثة، وتم تجديد المبنى باستخدام نظام BIPV عام ٢٠١٦، بواسطة المعماري "محمد السكري"، تم استخدام الألواح الكهروضوئية ذات اللون الأزرق في السطح وجزء من واجهة المبنى، وينتج المبنى طاقة سنوية بمتوسط ٢٩٥ ك.و.س، كما يتضح بالشكل (١٠٣-٣).



شكل (١٠٣-٣) مبنى بنك CIB بالقرية الذكية بمدينة السادس من أكتوبر
المصدر: تصوير الباحث في ١٣-٩-٢٠٢١

الفصل الرابع

القياس العملي للكهرباء الناتجة من الألواح الكهروضوئية

ستتناول الدراسة التطبيقية أولاً التجربة العملية لتحديد كمية الطاقة الكهربائية الناتجة من ألواح BIPV مقاسة بالكيلو وات ساعة وفقاً لتوزيع الواجهات حسب الجهات الأصلية تبعاً لإحداثيات مدينة شبين الكوم، والسطح بنوعيه الأفقى والمائل، وثانياً: المحاكاة لحساب وتأكيد الطاقة الكهربائية الناتجة من خلال الألواح المثبتة في الأوضاع المختلفة.

٤-١ تجربة قياس الكهرباء الناتجة عن الألواح

يتمثل الغرض من التجربة العملية 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. وكذلك التيقن من بيانات ملف الطقس Weather file الخاص بإحداثيات مدينة شبين الكوم، والمدرج ببرنامج المحاكاة، وقد تم إجراء التجربة أعلى مبنى قسم الهندسة الزراعية بكلية الزراعة جامعة المنوفية بمدينة شبين الكوم، على إحداثيات $30^{\circ} 33' 27''$ 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 بكلية الزراعة، وقد بلغت التكلفة الإجمالية للتجربة ١٨٥ ألف جنيه.

٤-١-١ أدوات التجربة

تمثلت أدوات التجربة فيما يلي:-

أ. نموذج الاختبار: تم تصميم وبناء غرفة مربعة طول ضلعها ٥ م وارتفاعها ٣ م، وتواجه جدرانها الجهات الأصلية، وتم عمل فتحتين للنوافذ في جهتي الشرق والغرب بأبعاد 1×1 م، تم تشييد جدران وسقف الغرفة من حوائط ستائرية curtain walls بسمك ١٠ سم، ومكونة من لوحين من الصاج المجلفن المغطى بالطلاء الأبيض، بينهما رغو "البولى يوريثان" كمادة عازلة للحرارة، وهى ذات معامل توصيل حرارى ٠,١١ وات/م^٢. كلفن وكثافة ٤٠ كيلو جرام/م^٣، وقد بلغت تكلفة تشييد الغرفة ١١٢ ألف جنيه مصري في مارس ٢٠٢٢، وقامت بتشيدها شركة البركة الكائنة في شارع المجمع بينها محافظة القليوبية، كما يتضح بالشكلين (٤-١) و (٤-٢).

ب. عدد ٦ ألواح كهروضوئية من شركة "جنكو سولار" Jinko Solar، متعدد البلورية Polycrystalline، كما يتضح بالشكل (٤-٣)، وقد تم توريد وتركيب الألواح بواسطة شركة "فلاديمير سولار" للطاقة الشمسية الواقعة في شارع فيصل بمحافظة الجيزة، وقد بلغ سعر اللوح الواحد ٢٠٠٠ جنيه في إبريل ٢٠٢٢، وتمثلت مواصفات اللوح كما يلي:-

- أبعاد اللوح (٩٩٢×١٦٤٠ مم) وبسمك ٤٠ مم.

- قدرة اللوح الواحد ٢٥٠ وات، وأقصى فرق جهد يمكن للوح إنتاجه ٣٠,٢٣ فولت، وأقصى شدة تيار ٨,٢٧ أمبير، بكفاءة ١٦٪.

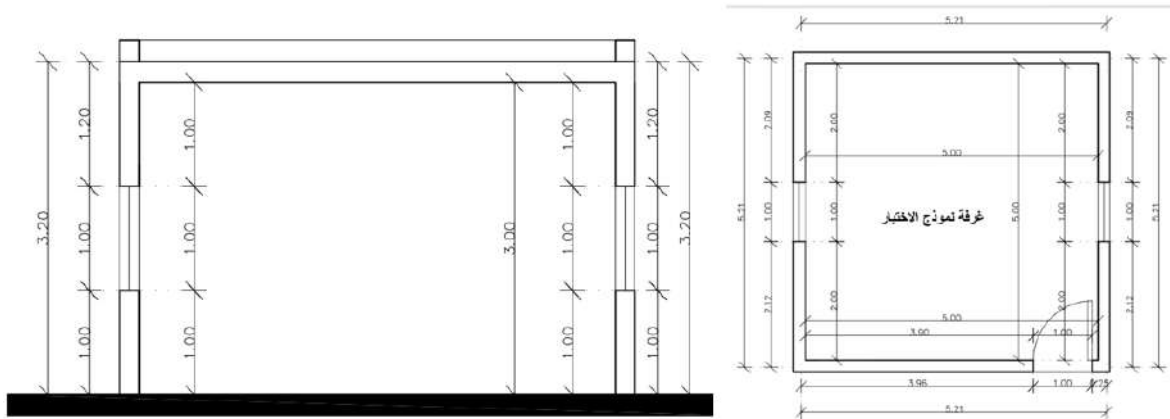
ج. محول من نوع "ماست" MUST مورد من نفس الشركة، وقدرته ٣٠٠٠ وات، وأقصى فرق جهد للمحول ٢٤ فولت،

وأقصى شدة تيار ٨٠ أمبير، كما يتضح بالشكل (٤-٤)، وبلغ سعره ٨٠٠٠ جنيه في إبريل ٢٠٢٢، ويستخدم

كمحول للتيار ومنظم لشحن البطاريات.

- د. عدد ٢ بطارية موردة من نفس الشركة، من نوع "نارادا" Narada بسعة ١٥٠ أمبير و ١٢ فولت للبطارية الواحدة، كما يتضح بالشكل (٤-٥)، وقد بلغ سعر البطارية الواحدة ٣٢٠٠ جنية في إبريل ٢٠٢٢، 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 (٤-٦)، وتمثلت مواصفات الجهاز كما يلي: -
- نوع الجهاز TES 1333، ويبلغ مداه حتى ٢٠٠٠ وات/م^٢ أو ٦٣٤ وحدة حرارية بريطانية BTU، إنتاج شركة Lan Yuxuan وبلد المنشأ تايوان.
 - تبلغ دقة الجهاز ٠,١ وات/م^٢، أو ٠,١ BTU قدم مربع في الساعة.
 - أبعاد الجهاز (٦٤×١١٠) مم وسمك ٣٤ مم.
 - يستخدم عدد ٤ بطاريات من مقاس AAA لتشغيل الجهاز.
 - تبلغ درجة حرارة التشغيل من صفر ° إلى ٥٠ °، على أن تكون الرطوبة النسبية أقل من ٧٠ %.
 - قدرة ذاكرة الجهاز الداخلية تستوعب حفظ عدد ٢٠٠ قراءة.
 - بلغ سعر الجهاز ٣١٠٠ جنية في مارس ٢٠٢٢.
- و. جهاز Data Logger "مسجل بيانات" لقياس درجة الحرارة، كما يتضح بالشكل (٤-٧)، وتمثلت مواصفات الجهاز كما يلي: -
- اسم الجهاز Data Logger LCD Temperature and Humidity Datalogger Recorder USB2.0 .PDF and CSV Files
 - نوع الجهاز TEMPU 03، إنتاج شركة Hilitand "هيليتاند" وبلد المنشأ الصين.
 - تبلغ درجة حرارة التشغيل من -٣٠ ° إلى ٦٠ °، وتتراوح الرطوبة النسبية من صفر إلى ٨٥ %.
 - أبعاد الجهاز (٣٦×٨٩) مم وسمك ١٦ مم.
 - قدرة ذاكرة الجهاز الداخلية تستوعب حفظ عدد ٣٢٠٠ قراءة.
 - بلغ سعر الجهاز ٨٦٠ جنية في إبريل ٢٠٢٢.
- ز. عدد ٦ أجهزة لقياس فرق الجهد والتيار والقدرة في وقت واحد (LCD Display Digital Current, Voltage, Power, Energy)، كما يتضح بالشكل (٤-٨)، وتمثلت مواصفات الجهاز كما يلي: -
- نوع الجهاز PZEM-061 AC، إنتاج شركة "جينرك" وبلد المنشأ الصين.
 - يبلغ نطاق جهد التيار المستمر ٢٦٠ فولت، ونطاق شدة التيار المستمر ٥٠ أمبير، ودرجة حرارة التشغيل تتراوح من -٢٠ ° إلى ٦٠ °.
 - أبعاد الجهاز (٥٣×٩٥) مم وسمك ٢٩ مم.
 - قدرة ذاكرة الجهاز الداخلية تستوعب حفظ عدد ٣٠٠ قراءة.
 - بلغ سعر الجهاز ٢٣٥ جنية في مارس ٢٠٢٢.
- ح. جهاز حاسب آلي محمول لتخزين وحفظ البيانات الناتجة عن القياسات، وتمثلت مواصفات الجهاز كما يلي: -
- نوع الجهاز HP EliteBook 840 G3.
 - المعالج المستخدم Processor "انتل كور" intel @ core™ I5-7300 CPU @ 2.60 GHz 2.71 GHz.
 - تبلغ الذاكرة المثبتة RAM ٨ جيجابايت.
 - نوع النظام المستخدم نظام تشغيل ويندوز ٦٤ بت، معالج x64-based.

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



شكل (٤-١) الرسومات التنفيذية لنموذج الاختبار

المصدر: الباحث



أ - مبنى التجربة العملية بكلية الزراعة جامعة المنوفية

المصدر: تصوير الباحث في ١٤-٨-٢٠٢٣



ب - مبنى التجربة العملية أثناء المتابعة

شكل (٤-٢) مبنى التجربة العملية

المصدر: تصوير الباحث في ١٤-١١-٢٠٢٣

شكل (٣-٤)

شكل ألواح الطاقة الكهروضوئية
المستخدمة في التجربة - بكلية الزراعة
- جامعة المنوفية
المصدر:

تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (٤-٤)

المحول "ماست" المستخدم في التجربة
المصدر:

تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (٥-٤)

البطارية "نارادا" المستخدمة في التجربة
المصدر:

تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤



شكل (٦-٤)

جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي المستخدم في التجربة
المصدر:

تصوير الباحث في ٢٠٢٣-٨-١٤





شكل (٧-٤)
جهاز قياس درجة الحرارة المستخدم
في التجربة
المصدر:
تصوير الباحث في ١٤-٨-٢٠٢٣

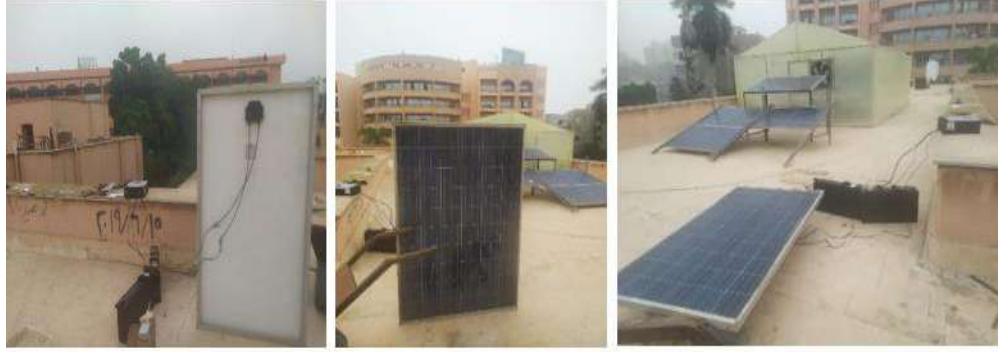


شكل (٨-٤)
جهاز قياس فرق الجهد والتيار (Multi meter) المستخدم في التجربة
المصدر:
تصوير الباحث في ١٤-٨-٢٠٢٣

٢-١-٤ وصف التجربة

تم تثبيت الألواح الكهروضوئية كالتالي: ٤ ألواح مثبتة على الجدران الخارجية لنموذج التجربة الموجهة تجاه الجهات الأصلية، وتم تثبيت لوحين على السطح، أحدهم أفقى، والآخر مائل بزاوية ٣٠ ° اتجاه الجنوب، والتي تعتبر الزاوية المثلى للوح بالنسبة لخط العرض، كما يتضح بالشكلين (٩-٤) و(١٠-٤)، ثم تم توصيل كل لوح بجهاز الأفوميتر لقياس الفولت والأمبير الناتج عن اللوح، كذلك تم وضع أجهزة قياس شدة الإشعاع الشمسى ودرجة الحرارة بجانب الألواح، وتم توصيل تلك الأجهزة إلى المحول، وقد تم برمجة ومزامنة أجهزة قياس شدة السطوع الشمسى ودرجة الحرارة والأفوميتر بحيث تقيس قراءة كل ساعة، وقد بدأ تسجيل القراءات بداية من يوم الأحد الموافق ١ يناير عام ٢٠٢٣ الساعة ٦ صباحاً حتى الساعة ٦ مساءً يوم الأحد الموافق ٣١ ديسمبر ٢٠٢٣، وتم مراعاة المرور الأسبوعى يوم الجمعة من الساعة ٢ مساءً إلى ٥ مساءً لتفريغ القراءات من ذاكرة أجهزة القياس، وإجراء صيانة الألواح التي تشمل إزالة الأتربة والغبار بشكل يدوى.

تم نقل قراءات أجهزة القياس إلى الحاسب المحمول كل أسبوع، وتسجيل القراءات على برنامج Solar Power Monitor وبرنامج الأكسيل MS Excel 2016، مع مراعاة التعامل مع القراءات المسجلة في الفترة من شروق الشمس إلى غروبها، وتوقيت بداية ونهاية تسجيل قراءات الإشعاع الشمسى من أجهزة قياس شدة الإشعاع، وقد تم تجاهل التوقيت الصيفى أثناء إجراء التجربة على اعتبار أن بيانات هيئة الأرصاد الجوية وملف الطقس الملحق ببرامج المحاكاه لا يعتمدان التوقيت الصيفى لمصر.



١- سطح أفقي

٢- واجهة جنوبية

٣- واجهة شرقية



٤- سطح مائل بزاوية ٣٠ °

٥- واجهة غربية

٦- واجهة شمالية

شكل (٩-٤)
الأوضاع المختلفة
للألواح الكهروضوئية
للمبنى - بكلية الزراعة -
جامعة المنوفية
المصدر:
تصوير الباحث في
١٥-٩-٢٠٢٣



شكل (١٠-٤)
الأوضاع المختلفة
للألواح الكهروضوئية
أثناء القياس للمبنى -
بكلية الزراعة -
جامعة المنوفية
المصدر:
تصوير الباحث

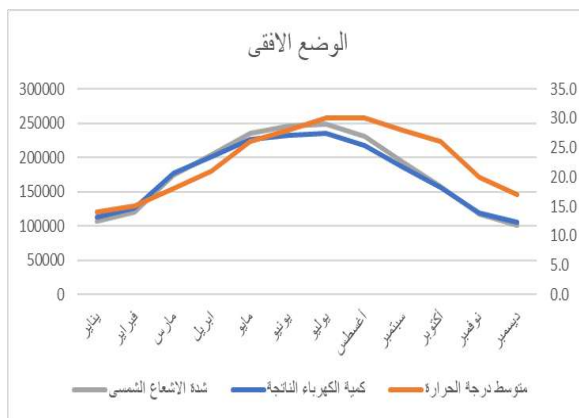


٤-١-٣ نتائج التجربة

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 (٤-١) 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^(١)، حيث يوضح العمود الأول وقت سطوع الشمس حتى غروبها، والعمود الثاني درجة 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 باقى الأعمدة من العمود رقم (١٠) إلى (١٥) بيانات الواجهات الغربية والشرقية والشمالية.

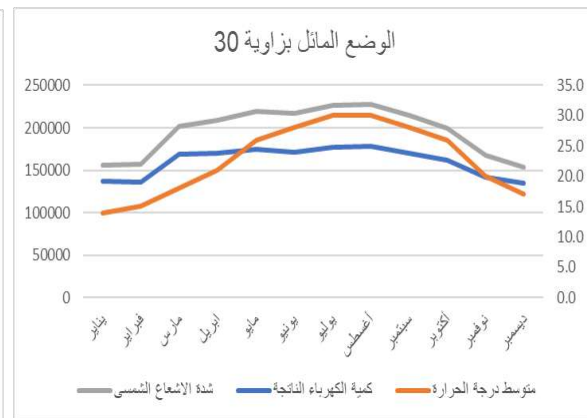
ويتناول الجدول (٤-٢) إجمالي إنتاج الكهرباء للأوضاع الستة المختلفة على مدار شهور العام، حيث يوضح العمود الأول شهور السنة، والعمود الثاني متوسط درجة الحرارة لكل شهر، ويوضح العمودان الثالث والرابع البيانات الخاصة للوضع المائل للألواح السطح، من حيث متوسط شدة الإشعاع الشمسي شهرياً بالوات. ساعة، وكمية الكهرباء 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. من خلال تحليل نتائج جدولين رقمي (٤-١) و(٤-٢) يتضح لنا ما يلي:-

- بالنسبة للألواح 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 (٤-١١).
- بالنسبة للألواح السطح الأفقية يتضح أن أفضل شهر لإنتاج الكهرباء هو شهر يوليو بإجمالى ٢٧,٤ ك.و.س.م^٢، وأقل شهر للإنتاج هو شهر ديسمبر بإجمالى 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 (٤-١٢).



شكل (٤-١٢) إنتاج الكهرباء لألواح السطح الأفقية

المصدر: الباحث



شكل (٤-١١) إنتاج الكهرباء لألواح السطح المائلة

المصدر: الباحث

(١) - محمد محمود عمار . الطاقة مصادرها واقتصادياتها. مكتبة النهضة المصرية، الطبعة الثانية، القاهرة، ١٩٨٩. ص ١١٠.

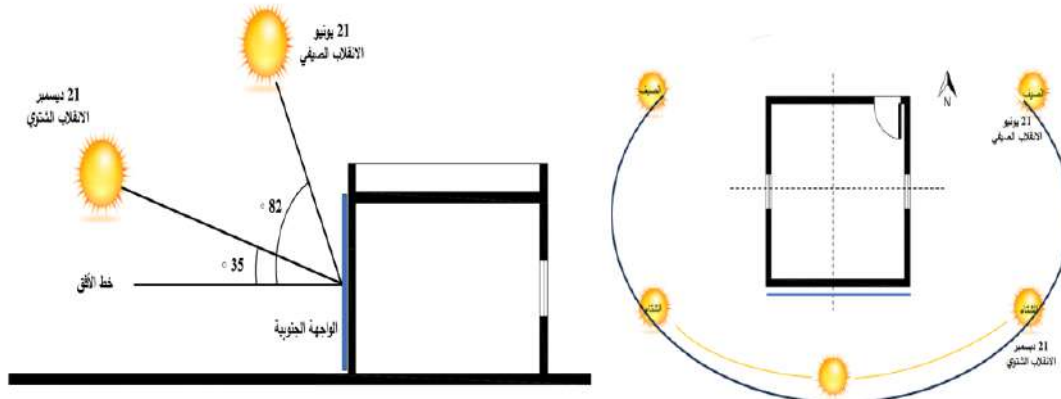
جدول (٤-١) إنتاج الكهرباء لأوضاع الألواح الستة وفقاً لفصول السنة لعام ٢٠٢٣

ألواح الواجهات								ألواح السطح				زاوية ارتفاع الشمس	متوسط درجة الحرارة	الوقت
الواجهة الشمالية		الواجهة الشرقية		الواجهة الغربية		الواجهة الجنوبية		الوضع الأفقى		الوضع المائل بزاوية 30				
الكهرباء الناتجة بالوات	متوسط لمدة الإشعاع الشمسي	الكهرباء الناتجة بالوات	متوسط لمدة الإشعاع الشمسي	الكهرباء الناتجة بالوات	متوسط لمدة الإشعاع الشمسي	الكهرباء الناتجة بالوات	متوسط لمدة الإشعاع الشمسي	الكهرباء الناتجة بالوات	متوسط لمدة الإشعاع الشمسي	الكهرباء الناتجة بالوات	متوسط لمدة الإشعاع الشمسي			
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

جدول (٤-٢) إجمالي إنتاج الكهرباء لأوضاع الألواح الستة على مدار شهور العام

الشهور		متوسط درجة الحرارة		ألواح السطح								
				ألواح الواجهات				الوضع الأفقى				
		الواجهة الشرقية		الواجهة الغربية		الواجهة الجنوبية		الوضع المائل بزوايا 30				
		بالكيلو وات ساعة		بالكيلو وات ساعة		بالكيلو وات ساعة		بالكيلو وات ساعة				
		متوسط شدة الإشعاع الشمسى		متوسط شدة الإشعاع الشمسى		متوسط شدة الإشعاع الشمسى		متوسط شدة الإشعاع الشمسى				
يناير	14.0	18000	7.5	61700	7.3	61500	18.1	145400	13.2	107100	19.2	155800
فبراير	15.0	21200	8.4	70000	8.1	68100	15.5	127200	14.7	120900	18.9	157100
مارس	18.0	27100	10.6	89300	11.6	99500	15.2	130000	20.7	174200	23.6	201200
ابريل	21.0	32800	11.4	98100	12.6	110400	10.7	97800	23.5	203200	23.8	208300
مايو	26.0	46300	12.3	108500	13.6	121400	7.2	71500	26.4	235100	24.5	219300
يونيو	28.0	55800	12.1	108400	14.1	127900	5.1	54200	27.1	245300	23.9	217500
يوليو	30.0	49900	11.7	105200	14.9	135000	5.9	62500	27.4	249300	24.8	226100
أغسطس	30.0	34900	11.6	104000	14.1	128100	9.1	89300	25.4	230500	24.9	227300
سبتمبر	28.0	25100	11.1	98700	11.9	107300	13.4	122400	21.7	192900	23.8	214300
أكتوبر	26.0	22400	10.0	87700	10.0	88800	17.4	150300	18.1	157300	22.7	199000
نوفمبر	20.0	18400	8.2	70100	8.0	69100	18.3	152000	13.9	117200	19.9	167600
ديسمبر	17.0	17300	7.4	61900	7.1	60600	18.5	150500	12.3	101600	18.8	154100
اجمالي السنة	-	36.6	-	122.2	-	133.3	-	154.4	-	244.4	-	269.0

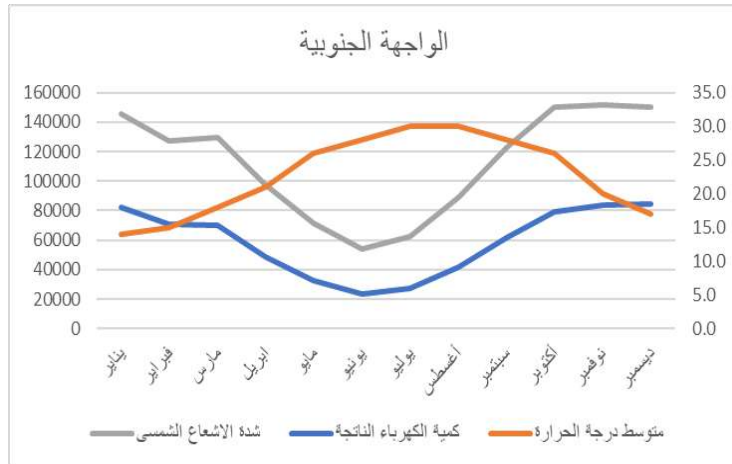
○ بالنسبة للألواح الرأسية المثبتة في الواجهة الجنوبية يتضح أن أفضل شهر لإنتاج الكهرباء هو شهر ديسمبر بإجمالى ١٨,٥ ك.و.س.م^٢، وذلك لأن زاوية ميل ارتفاع الشمس تتراوح من ٥° إلى ٣٥°، وينتج عن ذلك أن زاوية سقوط أشعة الشمس على الواجهة تكون بشكل شبه عمودى وقت مرور الشمس على الواجهة الجنوبية، مما يرفع شدة الإشعاع الشمسى، وأقل شهر للإنتاج هو شهر يونيو بإجمالى 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 موازى لها وقت مرور الشمس على الواجهة الجنوبية، مما يخفض شدة الإشعاع الشمسى، كما يتضح بالشكل (٤-١٣)، وينتج المتر المربع الواحد من اللوح طاقة سنوية بمقدار ١٥٤,٤ ك.و.س.م^٢/سنة، كما يتضح بالشكل (٤-١٤).



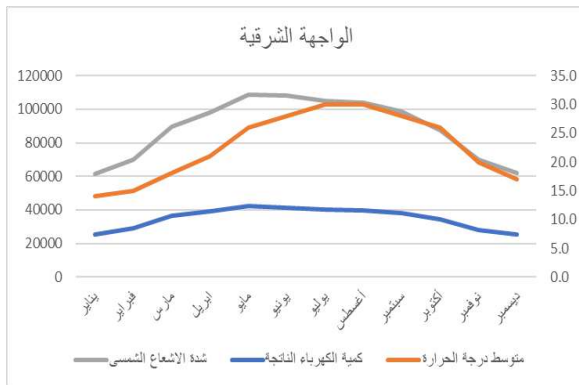
شكل (٤-١٣) زاوية ارتفاع الشمس في الصيف والشتاء

المصدر: الباحث

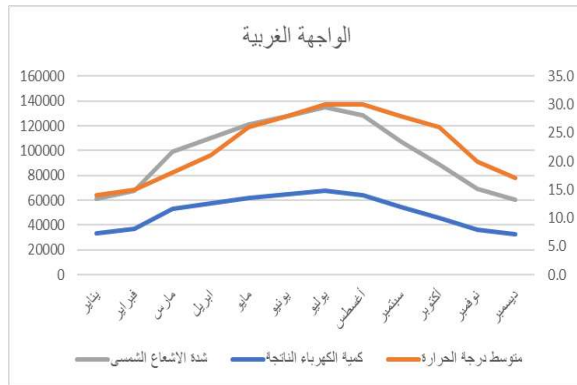
شكل (٤-١٤)
إنتاج الكهرباء للواجهة الجنوبية
المصدر: الباحث



- 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 (٤-١٥).
- 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 (٤-١٦).
- 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 (٤-١٧).

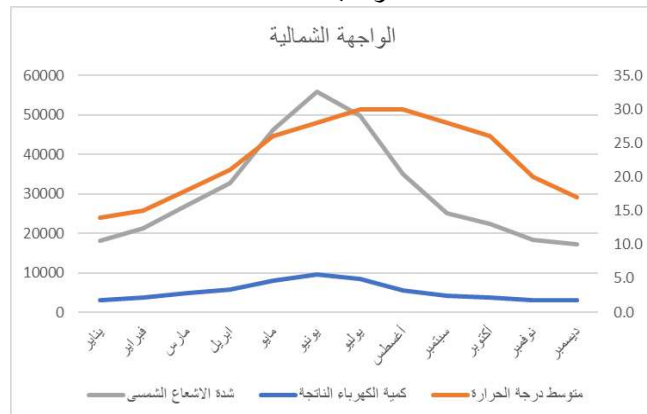


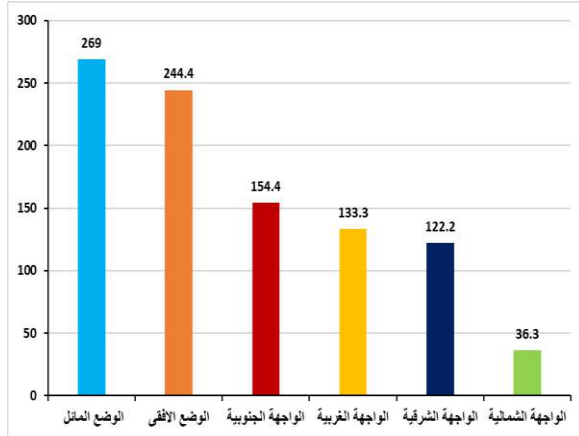
شكل (٤-١٦) إنتاج الكهرباء للواجهة الشرقية
المصدر: الباحث



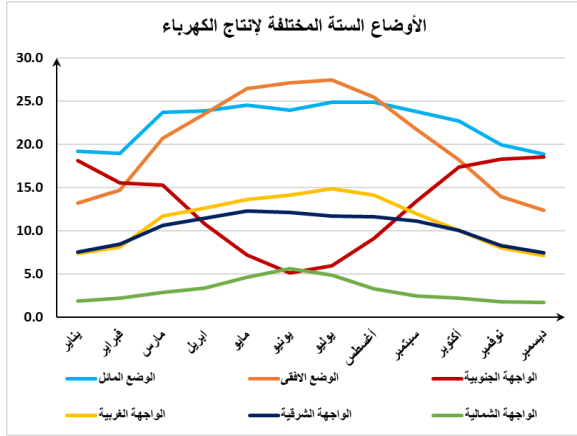
شكل (٤-١٥) إنتاج الكهرباء للواجهة الغربية
المصدر: الباحث

شكل (٤-١٧)
إنتاج الكهرباء للواجهة الشمالية
المصدر: الباحث





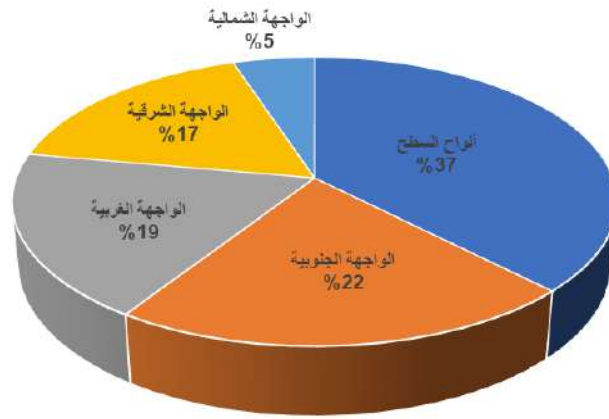
شكل (٤-١٩) أفضل الأوضاع لإنتاج الكهرباء بالترتيب للأوضاع الستة للألواح



شكل (٤-١٨) كمية الكهرباء الناتجة للأوضاع الستة للألواح

شكل (٤-٢٠)

النسبة المئوية للإجمالي الكهرباء المنتجة من النظام
المصدر: الباحث



جدول رقم (٤-٣) الأوضاع الستة للألواح والعلاقة بين كمية الكهرباء المنتجة من السطح بباقي الواجهات

م	الأوضاع المختلفة لتثبيت الألواح	الطاقة المنتجة السنوية ك.و.س/سنة	النسبة المئوية من إجمالي الكهرباء المنتجة من النظام	النسبة المئوية بالنسبة إلى السطح
1	الوجهة المائل بزواوية 30	269	37%	0%
2	الوجهة الأفقى	244.4	36%	0%
3	الوجهة الجنوبية	154.4	22%	57%
4	الوجهة الغربية	133.3	19%	49%
5	الوجهة الشرقية	122.2	17%	45%
6	الوجهة الشمالية	36.3	5%	13%

ويتضح من التحليل السابق والأشكال من (٤-١٨) إلى (٤-٢٠) أن أفضلية تثبيت الألواح تتوزع وفقاً للترتيب الموضح في الجدول (٤-٣)، ومن خلال ذلك يتضح أن كمية الكهرباء الناتجة من السطح سواء المائل أو الأفقى هي الأعلى مقارنة بباقي الواجهات، تليها كمية الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية التي تمثل نحو ٥٧٪ من الكهرباء الناتجة من السطح، تليها كمية الكهرباء الناتجة من الواجهة الغربية التي تمثل ٤٩٪ من الكهرباء الناتجة من السطح، ثم الواجهة الشرقية بنسبة ٤٥٪، ثم الواجهة الشمالية بنسبة ١٣٪ من الكهرباء الناتجة من السطح، فضلاً عن أن الكهرباء الناتجة

عنها تمثل ٥٪ من إجمالي الكهرباء الناتجة عن النظام، مما يجعلها غير ذات جدوى اقتصادية في إنتاج الكهرباء. 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.

وقد ثبت من خلال مقارنة القراءات الناتجة من أجهزة قياس شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة، مع مثيلتها الواردة من ملف الطقس الملحق من برامج المحاكاة Climate Consultant Version 5.4، وبرنامج PVGIS Version 5.2، وبرنامج Global Solar Atlas by Global Bank Group، أن كفاءة ملفات الطقس المذكورة بلغت نسبة ٩٥٪ وذلك كما يتضح من الجدول (٤-٤)، الذي يوضح مقارنة نتائج شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المقاسة مع ملفات الطقس لأربعة أيام تمثل فصول السنة الأربعة، ويوضح العمود الأول الوقت من سطوع الشمس وحتى غروبها، والعمود الثاني درجة الحرارة المقاسة بأجهزة التجربة، ويوضح العمود الثالث درجة الحرارة في ملف الطقس السابق ذكره، والعمود الرابع والخامس يوضحان شدة الإشعاع الشمسي المقاس ومن ملف الطقس للوضع الأول للألواح المثبتة بشكل مائل على السطح، والعمودان السادس والسابع يوضحان شدة الإشعاع الشمسي المقاس ومن ملف الطقس للوضع الثاني للألواح المثبتة بشكل أفقي على السطح، ويوضح العمودان الثامن والتاسع نفس البيانات السابقة في الواجهة الجنوبية، ويوضح العمودان (١٠) و(١١) بيانات الألواح المثبتة بشكل رأسي في الواجهة الغربية، ويوضح العمودان (١٢) و(١٣) بيانات الألواح المثبتة بشكل رأسي في الواجهة الشرقية، ويوضح العمودان (١٤) و(١٥) بيانات الألواح المثبتة بشكل رأسي في الواجهة الشمالية، ويوجد بعض الأيام وعددهم ١٨ يوم يوجد بهم اختلافات بين القراءات المقاسة وقراءات ملف الطقس وذلك بسبب الأحوال الجوية من أمطار وغيوم مما أثر على تلك القراءات.

جدول (٤-٤) مقارنة نتائج شدة الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المقاسة وملفات الطقس لفصول السنة الأربعة

الواحد السطح														الواحد الواجهات		الوقت
الوضع المائل بزاوية 30		الوضع الأفقي		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		الواجهة الشمالية		درجة حرارة ملف الطقس	درجة الحرارة المقاسة			
السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس	السطح الشمسي المقاس					
فصل الشتاء يوم 17 يناير 2023																
3	3	49	50	3	6	24	24	8	8	19	19	14	14	7:00 AM		
37	37	407	407	37	35	297	300	166	166	286	274	16	15	8:00 AM		
58	58	473	480	58	58	471	471	324	320	503	513	18	18	9:00 AM		
71	71	439	450	71	71	633	640	475	475	711	711	19	18	10:00 AM		
79	79	290	290	79	80	681	684	543	540	789	790	19	20	11:00 AM		
88	88	88	90	150	154	690	700	565	560	808	810	19	21	12:00 PM		
84	80	84	84	298	300	624	624	508	510	726	720	19	21	1:00 PM		
73	72	73	73	409	410	550	550	422	422	621	618	18	19	2:00 PM		
54	54	54	55	457	457	435	440	294	290	460	446	17	18	3:00 PM		
32	32	32	32	402	400	278	278	145	130	261	255	16	16	4:00 PM		
2	3	2	10	16	28	8	8	4	4	7	7	15	15	5:00 PM		
فصل الربيع يوم 15 ابريل 2023																
45	45	154	155	55	55	19	20	235	235	218	218	19	19	6:00 AM		
79	80	458	458	81	81	77	77	454	454	451	451	22	22	7:00 AM		
81	81	625	632	98	98	200	200	652	652	671	671	24	25	8:00 AM		
98	100	631	632	107	110	318	318	800	810	839	843	26	26	9:00 AM		
107	107	526	526	112	115	412	412	890	920	942	950	27	27	10:00 AM		
112	110	352	352	236	236	469	470	899	903	950	990	27	28	11:00 AM		
115	115	115	115	430	435	475	475	855	855	901	902	28	28	12:00 PM		
110	103	110	110	580	580	445	445	740	740	771	771	28	30	1:00 PM		
100	97	100	100	676	676	371	371	590	590	601	601	27	31	2:00 PM		
87	87	87	80	679	685	273	280	398	400	386	386	26	28	3:00 PM		
66	66	66	66	543	543	151	151	194	195	165	165	24	24	4:00 PM		
75	75	41	40	64	60	47	47	11	11	8	10	21	21	5:00 PM		
فصل الصيف يوم 17 يوليو 2023																
108	108	239	239	30	30	30	30	101	105	63	63	26	26	6:00 AM		
176	176	480	480	65	65	65	65	289	289	227	227	29	30	7:00 AM		
185	185	639	640	90	90	90	94	514	514	448	448	31	31	8:00 AM		
97	97	676	676	86	86	177	180	734	734	675	680	33	33	9:00 AM		
83	83	557	557	83	83	253	253	895	904	849	850	34	34	10:00 AM		
82	82	358	358	82	82	302	302	980	1000	945	950	35	35	11:00 AM		
83	82	83	83	193	200	318	320	1010	1015	978	980	35	40	12:00 PM		
81	81	81	79	416	416	293	293	972	972	935	935	35	41	1:00 PM		
77	77	77	77	607	610	231	231	874	874	823	823	35	44	2:00 PM		
85	85	71	70	738	740	122	122	720	720	650	650	35	41	3:00 PM		
166	150	62	62	783	810	62	62	527	530	437	440	33	36	4:00 PM		
208	190	47	44	717	720	47	47	316	316	214	210	30	30	5:00 PM		
179	177	24	24	464	464	24	24	110	110	48	45	28	28	6:00 AM		
فصل الخريف يوم 14 نوفمبر 2023																
22	22	308	308	22	22	172	172	87	87	150	150	22	20	7:00 AM		
48	48	521	521	48	51	404	404	267	267	408	408	24	24	8:00 AM		
62	62	528	530	62	62	576	576	435	440	630	630	25	25	9:00 AM		
73	73	415	415	73	73	689	689	560	560	788	788	26	26	10:00 AM		
85	85	241	245	85	85	718	718	612	612	841	842	26	26	11:00 AM		
90	93	90	90	228	228	691	692	597	603	814	814	27	27	12:00 PM		
85	85	85	85	383	383	638	638	538	538	739	744	26	26	1:00 PM		
69	72	69	70	484	492	540	543	423	423	599	602	25	25	2:00 PM		
52	52	52	52	518	518	411	411	279	280	420	420	23	23	3:00 PM		
26	28	26	26	400	400	227	227	110	110	196	201	22	22	4:00 PM		
8	8	7	7	105	105	42	42	44	41	57	57	21	20	5:00 PM		

الفصل الخامس

المحددات التصميمية للمباني المولدة للطاقة

يتمثل الجزء الثاني من الدراسة التطبيقية في دراسة المحددات التصميمية للمباني المولدة للطاقة من خلال تحديد المحددات التصميمية المرتبطة بكمية الطاقة التي ينتجها النظام، وتتمثل هذه المحددات فيما يلي :-

- ١) ارتفاع الواجهة.
- ٢) عدد الوحدات في الدور.
- ٣) نسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة.

١-٥ ارتفاع الواجهة كمحدد تصميمي

يتضح مما سبق أن مسطح الواجهة يعد محدداً تصميمياً هاماً لإنتاج الكهرباء المولدة من النظام، ويعتمد مسطح الواجهة على عاملين رئيسيين، العامل الأول هو عرض الواجهة، وهو مرتبط بدرجة كبيرة بالعملية التصميمية للفراغ الداخلي بالمبنى وهو ما سيتم شرحه لاحقاً، والعامل الثاني هو ارتفاع الواجهة، ويعتمد ارتفاع الواجهة على ثلاثة محددات فرعية، المحدد الأول هو ارتفاع دروة السطح، والمحدد الثاني ارتفاع الدور أو الطابق، والمحدد الثالث ارتفاع المبنى ككل والمتمثل في عدد الأدوار.

١-١-٥ ارتفاع دروة السطح

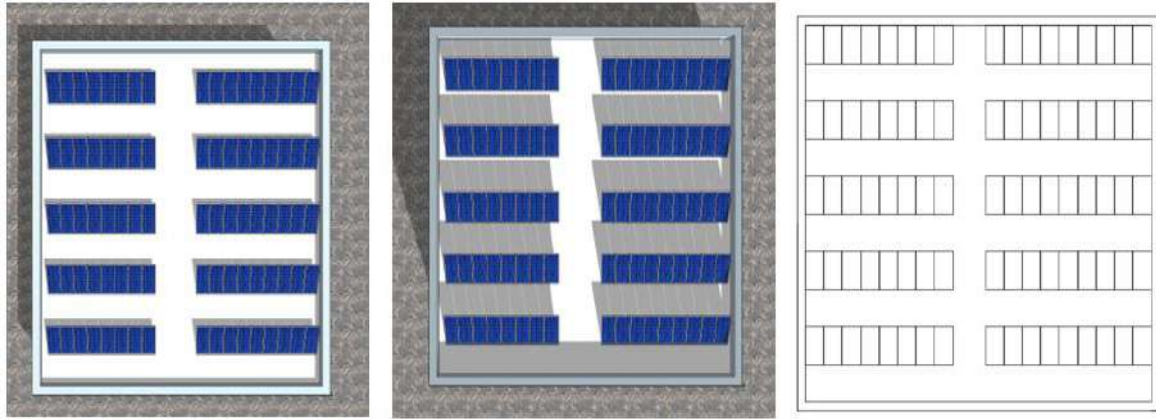
يتمثل المحدد الفرعي الأول في ارتفاع دروة السطح، والارتفاع المتعارف عليه لدروة السطح في المباني السكنية ١م، ولكن يتم تثبيت الألواح على هيكل معدني يتراوح ارتفاعه ما بين ١ إلى ٢م، مما ينجم عنه ظهور الألواح بشكل قد يبدو غير مألوف في واجهة المبنى، لذلك يقترح زيادة ارتفاع الدروة بحيث تكون ٢م حيث يعد هذا الارتفاع مناسباً لإجراء عمليات الصيانة والنظافة الدورية للألواح، وكذلك عدم إلقاء الظلال على الألواح، فضلاً عن تغطيه الدروة للهيكل المعدني المثبت عليه الألواح بحيث لا تكون ظاهرة في الواجهة، وقد تم دراسة محدداً ارتفاع دروة السطح من خلال إجراء محاكاة على مستوى نموذج أولي، حيث تم افتراض نموذج أولي لفراغ معماري مربع الشكل، طول ضلعه ١٠م (لسهولة إجراء الحسابات) وارتفاعه ٣م، وتواجه جدرانه الجهات الأصلية، وتم افتراض تثبيت ألواح نظام BIPV على ارتفاعات دروة السطح المختلفة في الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية للنموذج، كما يتضح بالشكلين (١-٥) و(٢-٥)، كما تم تثبيت ألواح بنظام BAPV على السطح بشكل مائل بزاوية ٣٠ درجة تجاه الجنوب، وتم استبعاد الواجهة الشمالية حيث أنها الأقل في إنتاج الكهرباء، كما اتضح من خلال التجربة الميدانية السابقة، وتعتمد المحاكاة على معرفة كمية الكهرباء الناتجة من زيادة ارتفاع دروة السطح مع ألواح السطح المائلة بداية من ١ إلى ٣م مقاسة بالكيلو وات ساعة. وتمثلت نتائج المحاكاة كما يتضح بالشكل (٣-٥) كمية الكهرباء الناتجة بالنسبة للارتفاع دروة السطح، والجدول رقم (١-٥)، بأن تبلغ كمية الكهرباء الناتجة من ارتفاع دروة السطح ١٦٥٥٧,٣ ك.و.س/سنة، وكلما زاد ارتفاع دروة السطح من ١ إلى ٣م زادت كمية الكهرباء المنتجة منها، حيث بلغت الزيادة لأرتفاع ٢م ٢٦٪ من الكهرباء المنتجة، وبلغت الزيادة في أرتفاع ٣م ٣١٪ من الكهرباء المنتجة، وبالتالي يتضح أن أفضل ارتفاع لدروة السطح ٢م، وذلك لتجنب ظهور الألواح في الواجهات، فضلاً عن تجنب سقوط الظلال على الألواح فتقلل من كفاءتها.

٥-١-٢ ارتفاع الدور أو الطابق

ويتمثل المحدد الفرعي الثاني في ارتفاع الدور، وتحدد اشتراطات البناء الصادرة في قانون البناء الموحد رقم ١١٩ لسنة ٢٠٠٨ الإرتفاع الأدنى للدور السكنى بقيمة ٢,٧م^(١)، ومع إضافة سمك خرسانة بلاطة السقف وارتفاع طبقة رمل التسوية والمونة وبلاط الأرضيات، يصبح الحد الأدنى لإرتفاع واجهة الدور ٣م، وتعتمد الدراسة على زيادة ارتفاع الواجهة من ٣ إلى ٤م، ودراسة الارتفاع المثالى من وجهة النظر الاقتصادية من حيث تكلفة التنفيذ وكمية الكهرباء الناتجة، وقد تم دراسة محدد الارتفاع من خلال إجراء محاكاة على مستوى نموذجين، نموذج أولى السابق ذكره وآخر تطبيقي كما يلي:-

أ. المحاكاة على مستوى النموذج الافتراضى

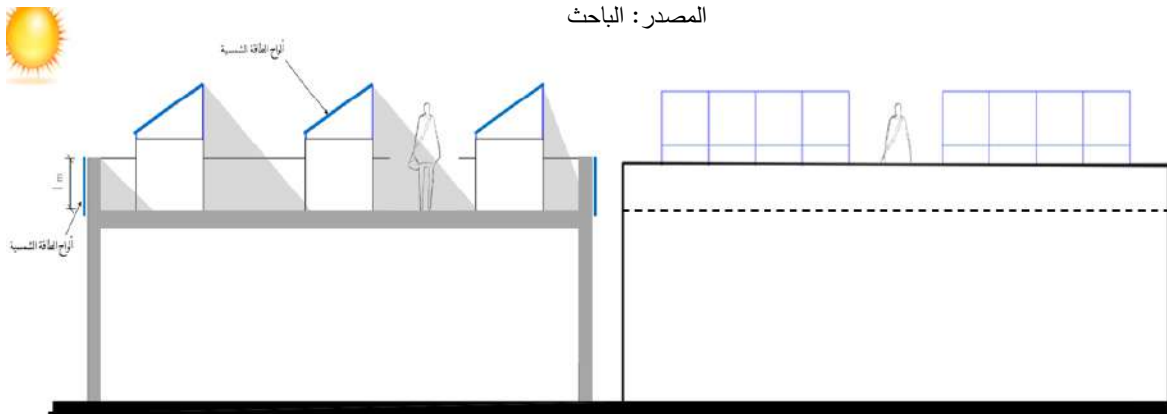
تم افتراض نموذج أولى لفرغ معمارى مربع الشكل، طول ضلعه ١٠م، وارتفاعه ٣م، كما تم ذكره سابقاً، وتواجه جدرانه الجهات الأصلية، وتم افتراض تثبيت ألواح نظام BIPV على الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية للنموذج، كما يتضح بالشكل (٥-٤)، وتم استبعاد الواجهة الشمالية حيث أنها الأقل في إنتاج الكهرباء، وتعتمد المحاكاة على معرفة كمية الكهرباء الناتجة من إجمالي مسطح الواجهات فقط، مع زيادة ارتفاع الدور كل ١٠سم بداية من ٣ إلى ٤م مقاسة بالكيلو وات ساعة.



شكل رقم (٥-١) المسقط الأفقي للمسطح بعد تثبيت ألواح الطاقة الكهروضوئية بنظام BAPV

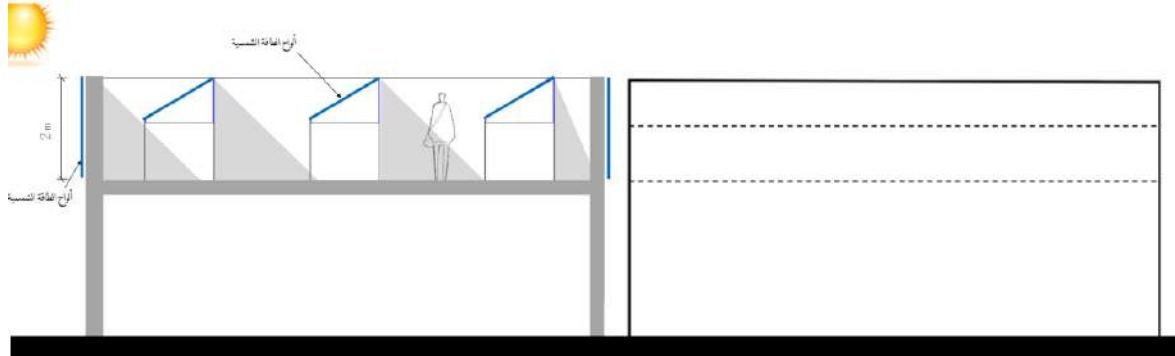
وتأثير الظلال في فصلى الصيف والشتاء

المصدر: الباحث

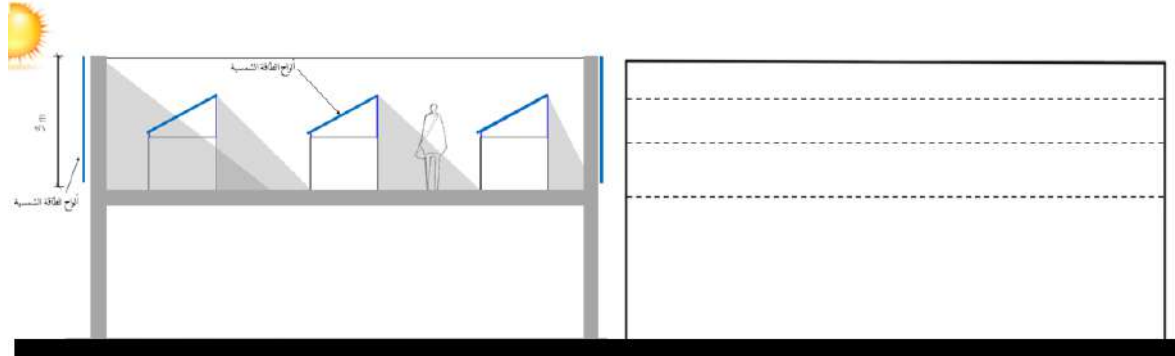


أ- ارتفاع دروة السطح ١م وظهور ألواح الطاقة الشمسية بنظام BAPV على الشكل الخارجى للواجهة

(١) - قانون البناء الموحد رقم ١١٩ لسنة ٢٠٠٨ ولائحته التنفيذية الصادرة بقرار وزير الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية رقم ١٤٤ لسنة ٢٠٠٩ والقوانين والقرارات المتعلقة. المطابع الاميرية، الطبعة العاشرة، ٢٠١٣، ص ١٤٠.



ب- ارتفاع دروة السطح 2 م على نفس ارتفاع ألواح الطاقة الشمسية بنظام BAPV لإخفائها من الشكل الخارجي للواجهة



ج- ارتفاع دروة السطح 3 م أكثر من ارتفاع ألواح الطاقة الشمسية بنظام BAPV

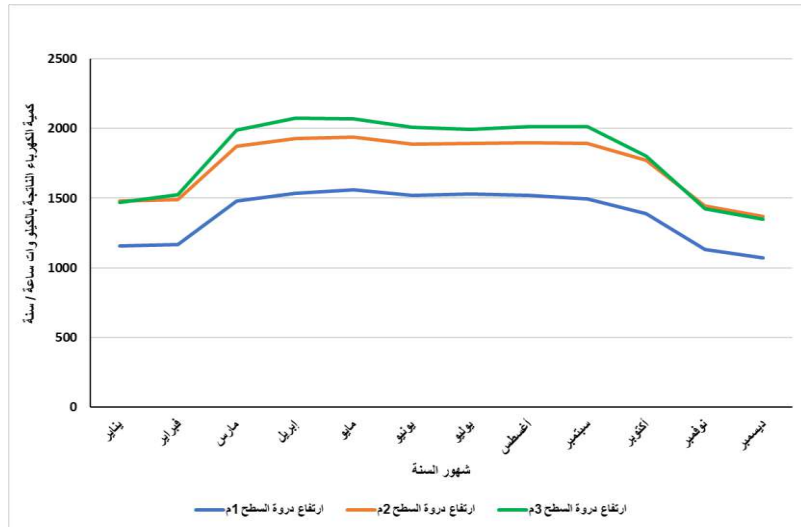
شكل رقم (٥-٢) محاولات اقتراح ارتفاع دروة السطح

المصدر: الباحث

جدول (٥-١) كمية الكهرباء الناتجة للأوضاع المختلفة من ارتفاع دروة السطح

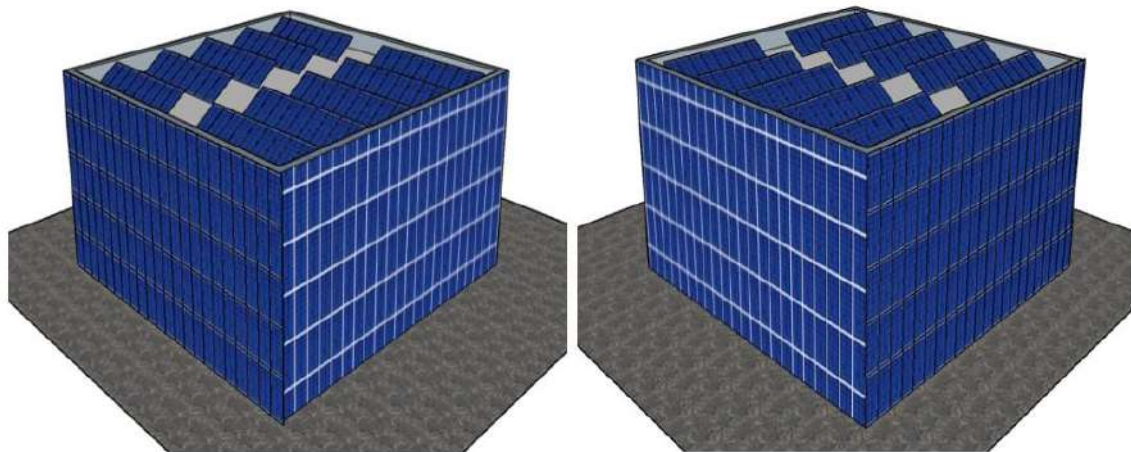
ارتفاع دروة السطح 3م	ارتفاع دروة السطح 2م	ارتفاع دروة السطح 1م	شهور السنة
إجمالي الكهرباء الناتجة من السطح ك.و.س/سنة			
1467	1481.7	1154.8	يناير
1527	1488.2	1168.6	فبراير
1987	1873.2	1479.6	مارس
2073	1929.5	1534.3	إبريل
2070	1938.6	1557.8	مايو
2007	1888.2	1520.6	يونيو
1992	1895	1530.9	يوليو
2016	1896.5	1520.2	أغسطس
2013	1890.5	1495.7	سبتمبر
1802	1769.3	1389.7	أكتوبر
1423	1442.1	1133	نوفمبر
1349	1370	1072.1	ديسمبر
21725	20863	16557.3	اجمالي الكهرباء الناتجة للسنة
31%	26%	—	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء مع ارتفاع الدروة

شكل رقم (٥-٣)
الكهرباء الناتجة من الأوضاع المختلفة
لارتفاع دروة السطح
المصدر: الباحث



وقد تم استخدام التطبيقات التالية لإجراء المحاكاة :-

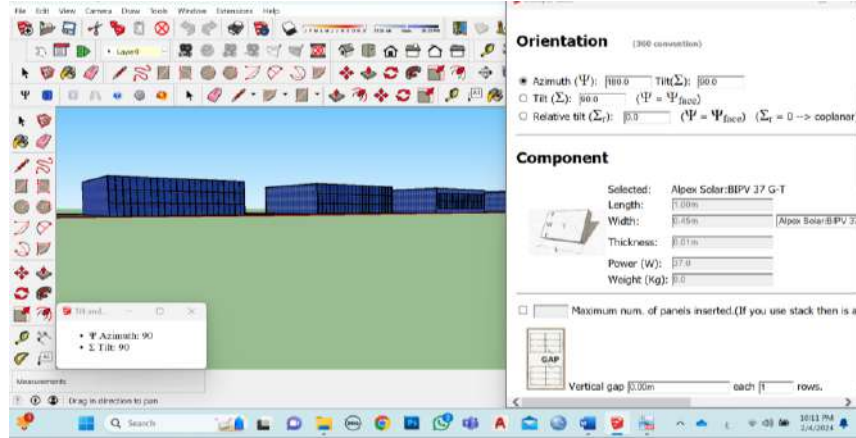
- (١) برنامج Auto CAD 2022 لإعداد الرسومات المعمارية للمبنى.
 - (٢) أداة Skelion v 5.4.1، وهي أداة تستخدم في برنامج Sketch Up Pro 2022، لتحديد وحساب الطاقة الناتجة عن الألواح خلال تثبيتها في واجهات المبنى.
 - (٣) أداة Ladybug، وهي أداة تستخدم ضمن تطبيق Grasshopper، ضمن برنامج Rhinoceros، لتحليل بيانات حركة الشمس وحركة الظلال من خلال ملفات بيانات الطقس.
 - (٤) برنامج PVGIS Version 5.2 لحسابات الطاقة الكهربائية الدقيقة المولدة من ألواح الطاقة الشمسية.
 - (٥) برنامج PV System 6.7.0 لتقدير حسابات الطاقة الكهربائية لنموذج المحاكاة.
- وتم إجراء المحاكاة على جهاز Dell Inspiron Core (TM) i7-1165G7 @2.80GHz 1.69 GHz، وتم اختيار موقع المحاكاة على نفس الإحداثيات السابقة الخاصة بالتجربة، وهي ٣٠° ٣٣' ٢٧" شمالاً و ٣١° ٠٠' ٤٥" شرقاً، كما هو موضح بالأشكال من (٥-٥) إلى (٥-٧). وتمثلت نتائج المحاكاة كما يتضح بالشكل (٥-٨) كمية الكهرباء الناتجة بالنسبة للارتفاع للنموذج الأولي، والجدول رقم (٥-٢)، بأنه كلما زاد ارتفاع الواجهات من ٣ إلى ٤م زادت كمية الكهرباء المنتجة منها، حيث تبلغ نسبة الزيادة للمتر الواحد من الكهرباء المنتجة ٣٣٪، وبذلك تصبح نسبة الزيادة لارتفاع ١٠ سم للدور ٣،٣٪.



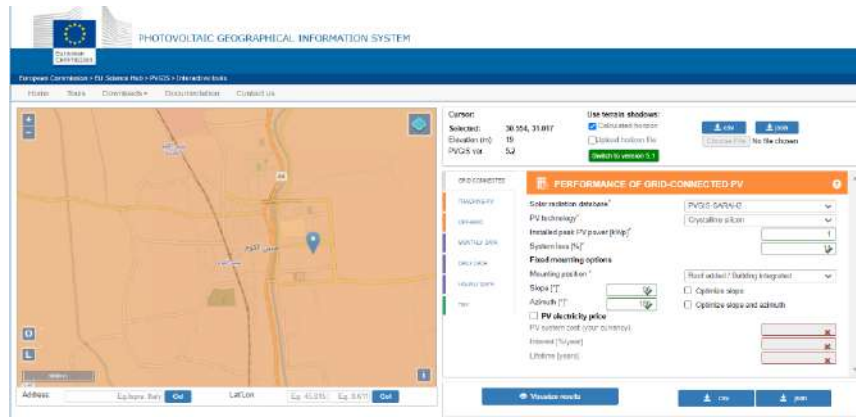
شكل رقم (٥-٤) لقطة منظورية للنموذج الأولي وتثبيت الألواح بنظامي BIPV و BAPV لارتفاع الدور ٣ و ٤م

المصدر: الباحث

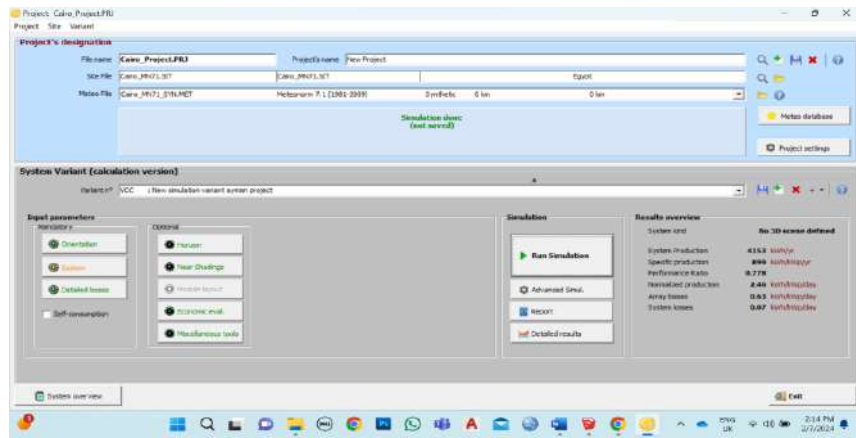
شكل رقم (٥-٥) شاشة تطبيق
Sketch Up Pro
Skelion V 5.4.1
مستخدم من
لتحليل مواضع الألواح والطاقة المنتجة
المصدر: الباحث



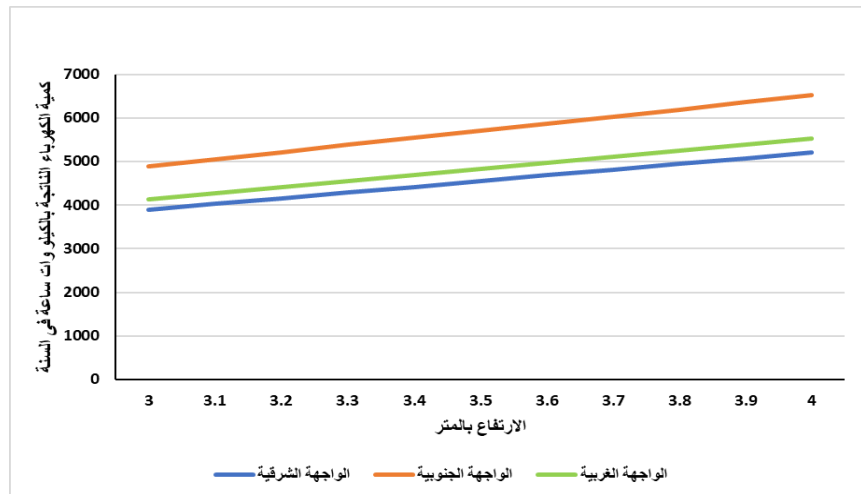
شكل رقم (٦-٥) شاشة
PVGIS Version
5.2
لتحليل مواضع الألواح
الطاقة المنتجة
المصدر: الباحث



شكل رقم (٧-٥) شاشة
PV System
Version 6.7.0
لتقدير حسابات الطاقة الكهربائية
لنموذج المحاكاة
المصدر: الباحث



شكل رقم (٨-٥)
كمية الكهرباء الناتجة من كل
واجهة بالنسبة إلى زيادة الارتفاع
من ٣ إلى ٤ م
المصدر: الباحث



جدول (٥-٢) كمية الكهرباء الناتجة لكل واجهة بالنسبة إلى الارتفاع للنموذج الأولي

النسبة المئوية %	الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة			ارتفاع الدور بالمتري	م	
	الإجمالي	الواجهة الغربية	الواجهة الجنوبية			الواجهة الشرقية
0.0%	12930	4140	4890	3900	3	1
3.3%	13361	4278	5053	4030	3.1	2
6.7%	13792	4416	5216	4160	3.2	3
10.0%	14223	4554	5379	4290	3.3	4
13.3%	14654	4692	5542	4420	3.4	5
16.7%	15085	4830	5705	4550	3.5	6
20.0%	15516	4968	5868	4680	3.6	7
23.3%	15947	5106	6031	4810	3.7	8
26.7%	16378	5244	6194	4940	3.8	9
30.0%	16809	5382	6357	5070	3.9	10
33.0%	17240	5520	6520	5200	4	11

ب. المحاكاة على مستوى النموذج التطبيقي (١)

تعتمد فكرة المحاكاة على مستوى النموذج التطبيقي (١) على معرفة الارتفاع المناسب من حيث تكلفة تنفيذ المبنى مقارنة بالكهرباء الناتجة عن النظام، وقد تم اختيار نموذج تطبيقي لأحدى العمارات السكنية للإسكان الاقتصادي، ويندرج النموذج ضمن نماذج وزارة الإسكان والتعمير التي تم إعدادها في ستينات وسبعينات القرن العشرين^(١)، والنموذج عبارة عن عمارة سكنية مكونة من ٤ طوابق وأرضي، ويضم كل طابق وحدتين سكنيتين، وتبلغ مساحة الوحدة الإجمالية ١٧٠ م^٢ بالأدوار المتكررة، وتبلغ مساحة الوحدة بالدور الأرضي ١٥٠ م^٢، وتضم الوحدة غرفتين نوم، ومنطقة استقبال وطعام، ومطبخ وحمام، كما يتضح بالمسقط الأفقي (٥-٩).

ولتركيب ألواح النظام على النموذج المختار يقترح البحث إجراء التعديلات التالية: -

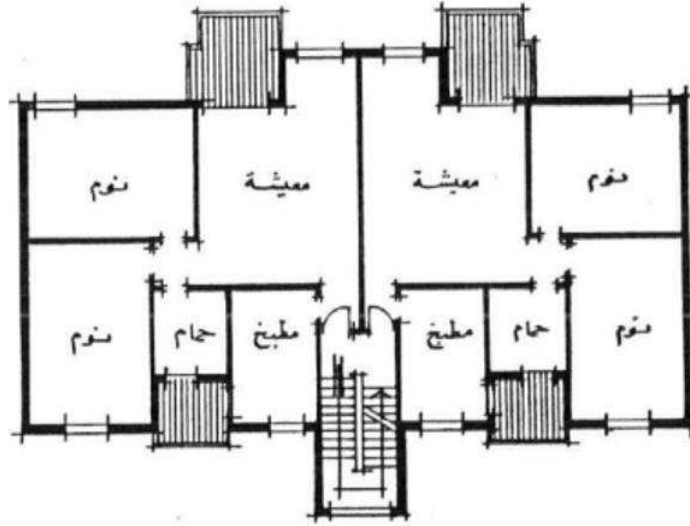
(١) تعديل ارتفاع دروة السطح من ١ إلى ٢م، وذلك بسبب تثبيت نظام BAPV على السطح، ووضع الألواح بشكل مائل بزاوية ٣٠° ناحية الجنوب، وتبلغ أبعاد اللوح المقترح (٩٩٢×١٦٤٠) مم، بقدرة ٢٥٠ وات، وبكفاءة ١٦٪، وتم اقتراح ارتفاع الدروة لكي تكون ٢م حيث إن هذا الارتفاع هو المناسب لإجراء الصيانة والنظافة الدورية للألواح، وكذلك عدم إلقاء الظلال على الألواح، وقد يكون من الأنسب أن تغطي الدروة الشكل الخارجي للألواح بحيث لا تكون ظاهرة في الواجهة.

(٢) تم تثبيت ألواح BAPV على السطح كما يتضح بالشكل (٥-١٠) أرقام (ج، د، هـ) حيث تم ترك مسافات بين الألواح وبعضها لعدم سقوط الظلال على الألواح، مما تعمل على خفض كفاءتها، كما تم مراعاة مسارات الحركة اللازمة لعمليات الصيانة الدورية للألواح.

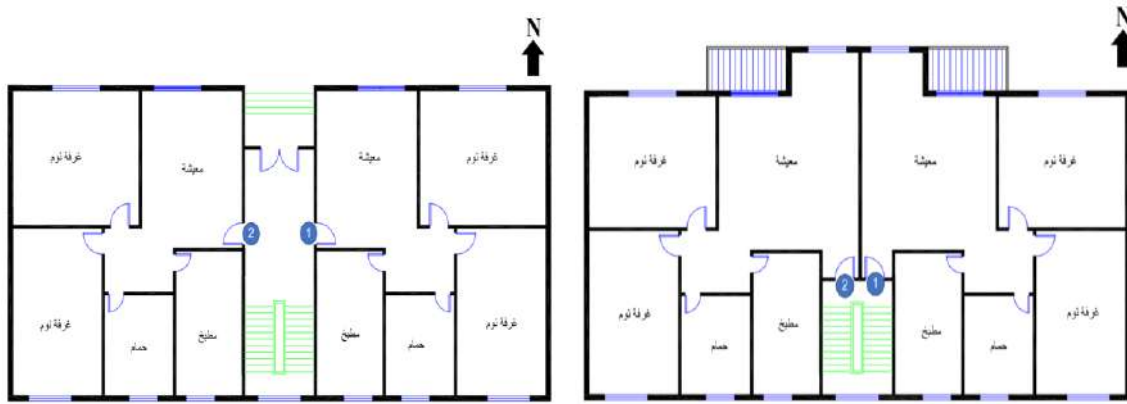
(١) - سمات عبد القادر وآخرون. مدخل وتطبيق في تصميم وتخطيط المناطق السكنية. دار نشر العربي، الطبعة الثانية، القاهرة، ١٩٨٨. ص ١٥.

<https://dn790003.ca.archive.org/0/items/tsmemtkhtet/tsmem%26tkhtet.pdf>. at 23-12-2023. at 12:15 Pm. /

- ٣) تم تثبيت ألواح BIPV على الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية، كما هو موضح بالشكل (٥-١٠)، وتبلغ أبعاد اللوح المقترح (٦٠٠×٦٠٠) مم، وتعديل أبعاد فتحات النوافذ لتصبح (١,٨×١,٨) م لغرف النوم والسلم الرئيسي، و(١,٨×١,٢) م للحمام والمطبخ، لكي يتناسب مع الموديول المقترح للألواح.
- ٤) عدم تثبيت ألواح BIPV في الواجهة الشمالية، وذلك بسبب ضعف إنتاجها من الكهرباء كما اتضح من التجربة السابقة.
- ٥) عدم تثبيت ألواح BIPV في الدور الأرضي، حتى لا يكون عرضه للتلف أو الكسر من قبل المشاة.

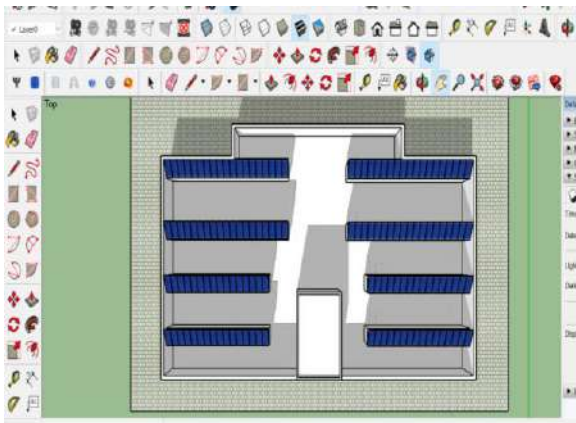


شكل (٥-٩)
المسقط الأفقي المتكرر للعمارة السكنية قبل التعديل
المصدر:
نسمات عبد القادر، مدخل وتطبيق في تصميم
وتخطيط المناطق السكنية

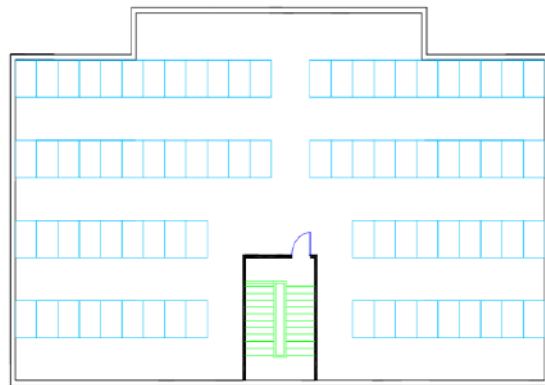


ب- المسقط الأفقي للدور الأرضي

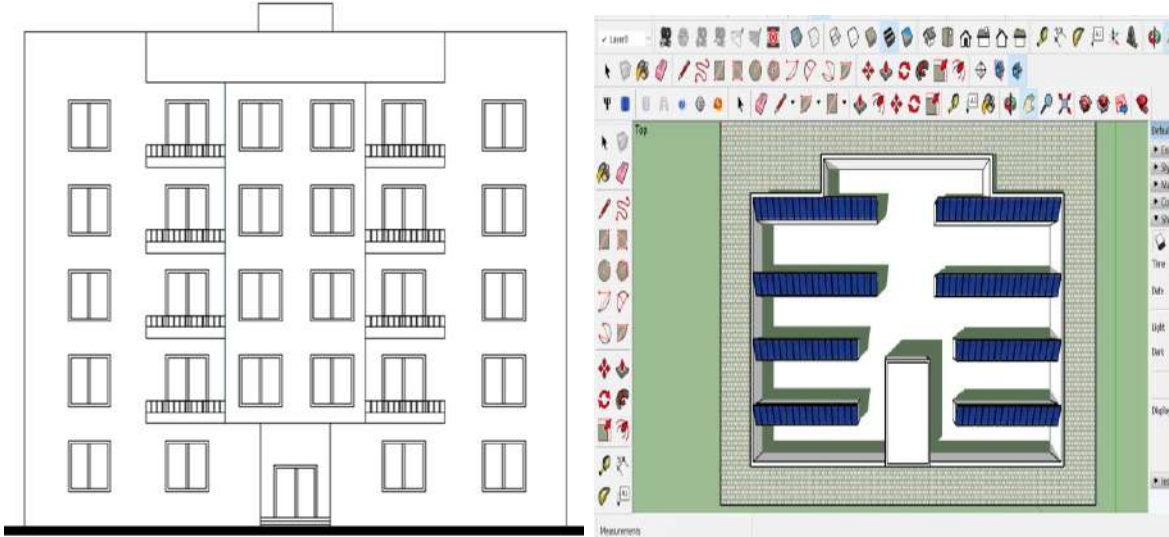
أ- المسقط الأفقي للدور المتكرر



د- المسقط الأفقي للسطح بنظام BAPV وتأثير الظل في فصل الشتاء الممثل في شهر يناير

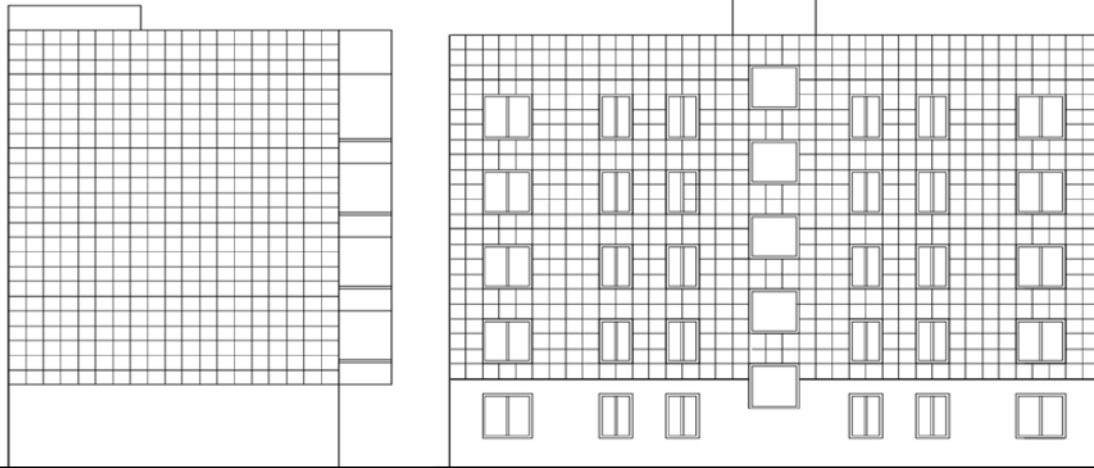


ج- المسقط الأفقي للسطح بنظام BAPV



و- الواجهة الشمالية

هـ- المسقط الأفقي للسطح بنظام BAPV وتأثير الظل في فصل الصيف الممثل في شهر يوليو



ش- الواجهة الشرقية بنظام BIPV

س- الواجهة الجنوبية بنظام BIPV



ط- قطاع ماراً بالمدخل للعمارة السكنية

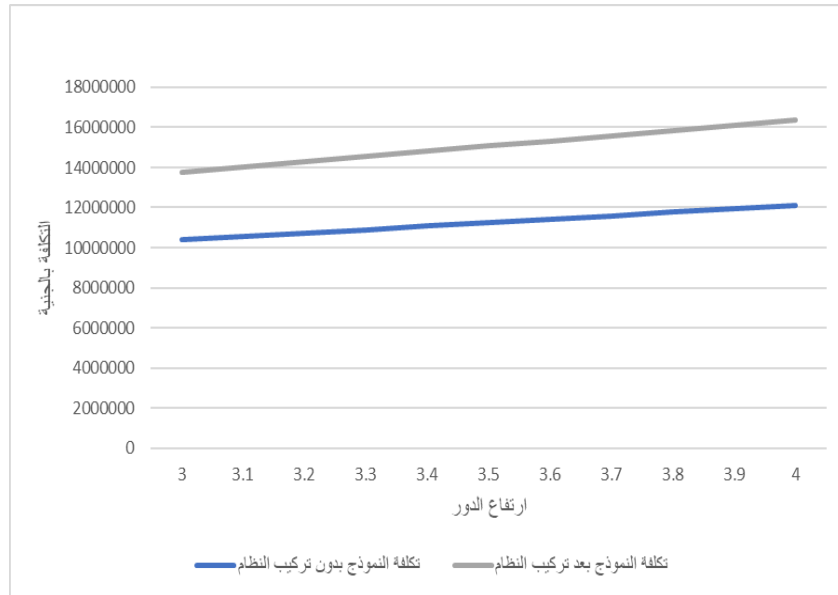
ص- الواجهة الغربية بنظام BIPV

شكل (١٠-٥) الرسومات المعمارية للنموذج التطبيقي بعد التعديل

المصدر: الباحث

تم حساب تكلفة إنشاء النموذج وفقاً لفئات بنود الأعمال في ديسمبر ٢٠٢٣، وذلك لارتفاع ٣م للدور الواحد، وبالتالي بلغ إجمالي ارتفاع واجهة النموذج ١٨م، وتم حساب تكلفة إنشاء نفس النموذج بارتفاع ٤م للدور الواحد، وبالتالي بلغ إجمالي ارتفاع واجهة النموذج ٢٢م، مع مراعاة حساب زيادة كميات بنود الاعمال المرتبطة بزيادة ارتفاع الدور، وتثبيت كميات بنود الاعمال غير المرتبطة بزيادة الارتفاع، وذلك كما يتضح بمقاييس الاعمال بفصل المحددات الاقتصادية، ويوضح الشكل (٥-١١) نتائج تطور تكلفة التنفيذ مع زيادة ارتفاع الدور، ومنه يتضح أنه مع زيادة الارتفاع ١٠سم تزداد تكلفة بناء النموذج بدون تركيب النظام بنسبة ١,٦٪، وتزداد تكلفته بنسبة ١,٩٪ مع تركيب النظام، كما يتضح بالجدول (٥-٣).

شكل (٥-١١)
تكلفة تركيب النظام والنموذج التطبيقي
المصدر: الباحث



جدول (٥-٣) تكلفة تركيب النظام للنموذج التطبيقي

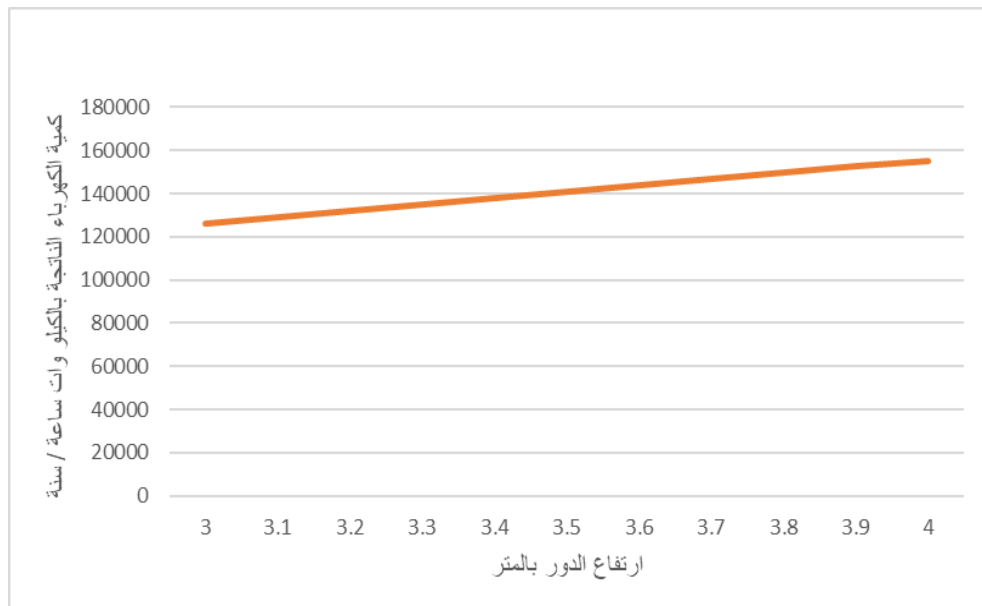
م	ارتفاع الدور بالمتري	تكلفة النموذج بدون تركيب النظام بالجنية	النسبة المئوية لتكلفة النموذج بدون تركيب النظام	تكلفة تركيب النظام للنموذج بالجنية	تكلفة النموذج بعد تركيب النظام بالجنية	النسبة المئوية لتكلفة النموذج بعد تركيب النظام
1	3	10389090	0.0%	3581000	13746090	0.0%
2	3.1	10560404	1.6%	3680000	14009684	1.9%
3	3.2	10731717	3.3%	3779000	14273277	3.8%
4	3.3	10903031	4.9%	3878000	14536871	5.8%
5	3.4	11074345	6.6%	3977000	14800465	7.7%
6	3.5	11245659	8.2%	4076000	15064059	9.6%
7	3.6	11416972	9.9%	4175000	15327652	11.5%
8	3.7	11588286	11.5%	4274000	15591246	13.4%
9	3.8	11759600	13.2%	4373000	15854840	15.3%
10	3.9	11930913	14.8%	4472000	16118433	17.3%
11	4	12102227	16.0%	4571000	16382027	19.0%

تم إجراء محاكاة على النموذج باستخدام التطبيقات السابق استخدامها مع النموذج الافتراضي الأولى، وذلك بزيادة ارتفاع الدور ١٠ سم في كل مرة، وما يترتب عليه من زيادة ارتفاع مسطح الواجهة المثبت بها الألواح ٤٠سم، بداية من ارتفاع ٣م وصولاً إلى ارتفاع ٤م، (مع التنكير بعدم وجود ألواح في الدور الأرضي، وبالتالي تعتبر زيادة ارتفاع

الدور الأرضي غير مؤثرة في الحسابات)، وتمثلت نتائج المحاكاة للكهرباء الناتجة من النموذج في كل من الجدول رقم (٤-٥) والشكل (١٢-٥)، ومنه يتضح أنه مع زيادة الارتفاع ١٠م تزداد كمية الكهرباء الناتجة من النموذج بنسبة ٢,٣٪، ومع دمج عامل تكلفة التنفيذ مع قيمة الكهرباء الناتجة عند زيادة الارتفاع، وعلى اعتبار أن سعر الكيلو وات ساعة ١,٦٠ قرش في ديسمبر ٢٠٢٣، يتضح في الجدول رقم (٥-٥) والاشكال من (١٣-٥) إلى (١٥-٥).

جدول (٤-٥) كمية الكهرباء الإجمالية الناتجة من النموذج التطبيقي

م	ارتفاع الدور بالمتر	كمية الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	النسبة المئوية %
1	3	126049	0.0%
2	3.1	128986.4	2.3%
3	3.2	131923.8	4.7%
4	3.3	134861.2	7.0%
5	3.4	137798.6	9.3%
6	3.5	140736	11.7%
7	3.6	143673.4	14.0%
8	3.7	146610.8	16.3%
9	3.8	149548.2	18.6%
10	3.9	152485.6	21.0%
11	4	155423	23.0%

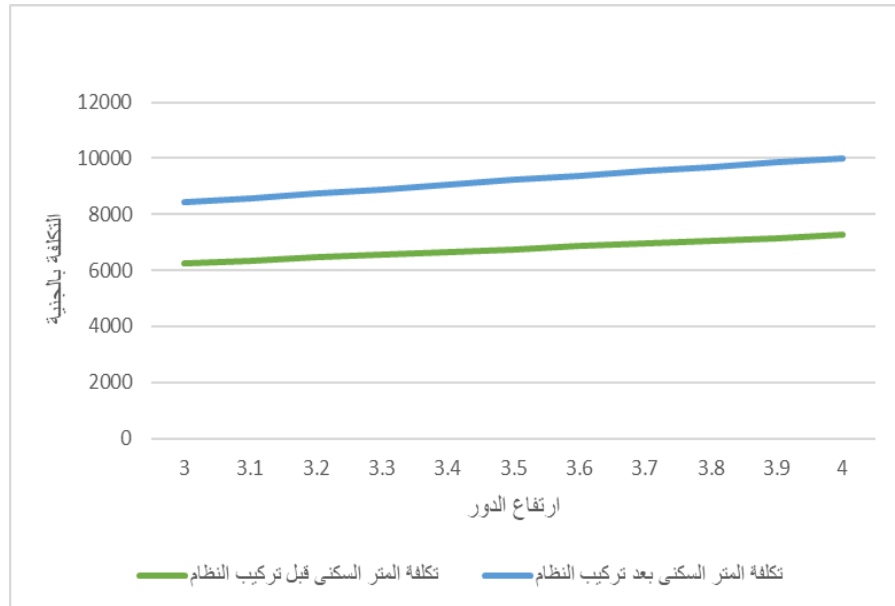


شكل (١٢-٥)
كمية الكهرباء الناتجة
من النموذج التطبيقي
المصدر: الباحث

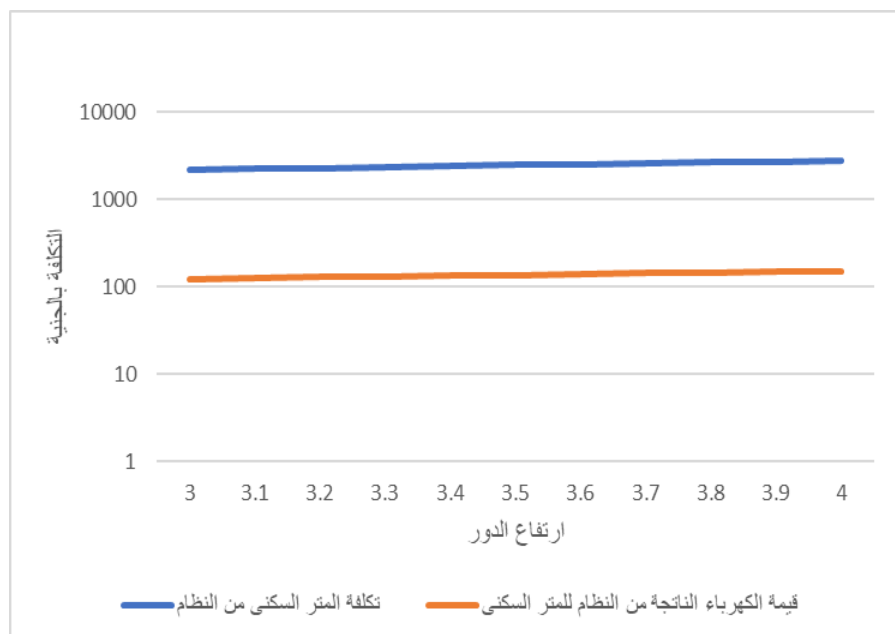
شكل (١٣-٥)
تكلفة تركيب النظام للنموذج
التطبيقي وتكلفة النموذج بدون
النظام والتكلفة الإجمالية
المصدر: الباحث



شكل (١٤-٥)
تكلفة المتر السكني قبل وبعد
تركيب النظام للنموذج التطبيقي
المصدر: الباحث



شكل (١٥-٥)
تكلفة المتر السكني من النظام
وقيمة الكهرباء من المتر السكني
للمنموذج التطبيقي
المصدر: الباحث



جدول (٥-٥) العلاقة بين ارتفاع الدور وتكلفة التنفيذ والكهرباء الناتجة

م	ارتفاع الدور بالمتر	تكلفة النموذج بدون النظام بالجنيه		تكلفة تركيب النظام بالجنيه		تكلفة النموذج بعد تركيب النظام بالجنيه		تكلفة المتر السكنى قبل تركيب النظام بالجنيه		تكلفة المتر السكنى بعد تركيب النظام بالجنيه		تكلفة المتر من النظام بالجنيه		كمية الكهرباء الناتجة من النظام ك.و.س/سنة		قيمة الكهرباء الناتجة من النظام جنيه/سنة		قيمة المتر السكنى بعد تركيب النظام جنيه/م ² /سنة	
		النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة	النسبة المئوية	التكلفة
1	3	0.0	10389090	0.0%	3581000	0.0%	13746090	0.0%	6258	0.0%	8416	0.0%	2157	0.0%	126049	0.0%	201678.4	0.0%	121.5
2	3.1	1.6	10560404	2.8%	3680000	1.9%	14009684	1.6%	6358	1.6%	8576	1.9%	2216.7	2.8%	128986.4	2.3%	206378.2	2.3%	124.3
3	3.2	3.3	10731717	5.5%	3779000	3.8%	14273277	3.2%	6458	3.2%	8735	3.8%	2276.4	5.5%	131923.8	4.7%	211078.1	4.7%	127.2
4	3.3	4.9	10903031	8.3%	3878000	5.8%	14536871	4.8%	6559	4.8%	8895	5.7%	2336.1	8.3%	134861.2	7.0%	215777.9	7.0%	130.0
5	3.4	6.6	11074345	11.1%	3977000	7.7%	14800465	6.4%	6659	6.4%	9055	7.6%	2395.8	11.1%	137798.6	9.3%	220477.8	9.3%	132.8
6	3.5	8.2	11245659	13.8%	4076000	9.6%	15064059	8.0%	6759	8.0%	9215	9.5%	2455.5	13.8%	140736	11.7%	225177.6	11.7%	135.6
7	3.6	9.9	11416972	16.6%	4175000	11.5%	15327652	9.6%	6859	9.6%	9374	11.4%	2515.2	16.6%	143673.4	14.0%	229877.4	14.0%	138.5
8	3.7	11.5	11588286	19.4%	4274000	13.4%	15591246	11.2%	6959	11.2%	9534	13.3%	2574.9	19.4%	146610.8	16.3%	234577.3	16.3%	141.3
9	3.8	13.2	11759600	22.1%	4373000	15.3%	15854840	12.8%	7060	12.8%	9694	15.2%	2634.6	22.1%	149548.2	18.6%	239277.1	18.6%	144.1
10	3.9	14.8	11930913	24.9%	4472000	17.3%	16118433	14.4%	7160	14.4%	9853	17.1%	2694.3	24.9%	152485.6	21.0%	243977.0	21.0%	147.0
11	4	16.5	12102227	27.6%	4571000	19.0%	16382027	16.0%	7260	16.0%	10013	19.0%	2754.0	27.7%	155423	23.3%	248676.8	23.3%	149.8

ملحوظة:

* التكلفة بالجنيه المصري وفقاً لأسعار ديسمبر 2023.

* قيمة الكهرباء الناتجة بالجنيه المصري وفقاً لأسعار الكهرباء في ديسمبر 2023 بدون دعم وهي تبلغ 160 قرش الكيلووات ساعة.

ومن خلال الشكل (٥-١٥) يتضح أن المنحنى المعبر عن تكلفة المتر السكنى من النظام يكاد يكون موازياً للمنحنى المعبر عن قيمة الكهرباء الناتجة عن النظام للمتر السكنى، وبالتالي العلاقة بينهما علاقة طردية ثابتة مما يعنى إنه كلما زاد ارتفاع الدور كلما زادت الكهرباء الناتجة بنفس المعدل أو النسبة، وبالتالي قد يكون من الأوقع زيادة ارتفاع الدور السكنى في الحدود من ٣ إلى ٤م، وفي حالة الاكتفاء بارتفاع ٣م للدور، فذلك قد يكون حل موفق من الناحية الاقتصادية، وإن كان زيادة ارتفاع الدور إلى ٤م قد تكون حل أكثر توفيقاً بسبب زيادة كمية الكهرباء الناتجة، فضلاً عما تضيفه من راحة حرارية للفراغ الداخلى.

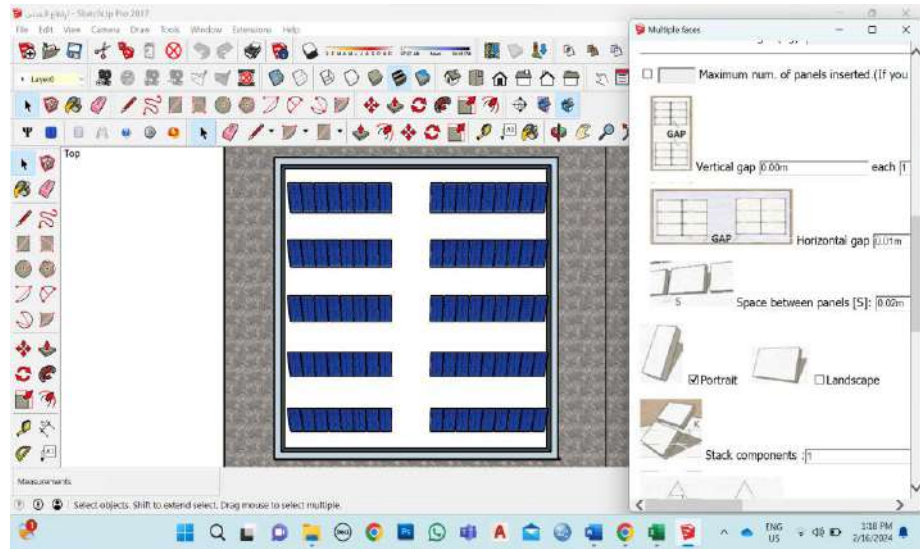
٥-١-٣ ارتفاع المبنى المتمثل في عدد الطوابق

يتمثل المحدد الثالث في ارتفاع الواجهة في ارتفاع المبنى ذاته، وبالتالي يكون عدد الادوار التي يتكون منها المبنى عاملاً مهماً في إنتاج الكهرباء، وفي البداية يجب حساب نسبة الكهرباء الناتجة من ألواح السطح مقارنة بباقي الواجهات، وللرجوع إلى التجربة التي تمت في بداية الدراسة التطبيقية يتضح لنا من الجدول (٥-٦) أن الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية (وهى أعلى واجهة في إنتاج الكهرباء) تمثل ٥٧٪ من إجمالي الكهرباء الناتجة من ألواح السطح، ولكن مع مراعاة أن الألواح لا تغطي كامل مسطح السطح. ولحساب نسبة مسطح الألواح بالنسبة إلى مسطح السطح يتم الرجوع إلى النموذج التطبيقي شكل (٥-١٠) (ج) حيث يتضح لنا أن مساحة الألواح الشمسية تمثل نسبة ٤٢٪ من إجمالي مسطح السطح، وبتطبيق هذه النسبة على محاكاة النموذج الأولى الذى تبلغ مساحة سطحه ١٠٠م^٢، سيتم وضع الألواح على مساحة ٤٢م^٢ كما يتضح بالشكل (٥-١٦)، وذلك في حالة اعتبار أن النموذج الأولى مكون من دور واحد على ارتفاع ٣م، وحساب كمية الكهرباء الناتجة ثم تكرار المحاكاة مع زيادة الأدوار حتى ٢٠ دور، كما يتضح في الشكلين (٥-١٧) و(٥-١٨)، تتضح نتائج المحاكاة في الجدول رقم (٥-٧) وشكل (٥-١٩)، وبالتالي نجد أن أثر استخدام النظام المثبت على الواجهات لا يتضح دورة بدرجة كبيرة من إنتاج الكهرباء مقارنة بالكهرباء الناتجة من ألواح السطح إلا بداية من المبنى المكون من ٣ أدوار وأكثر.

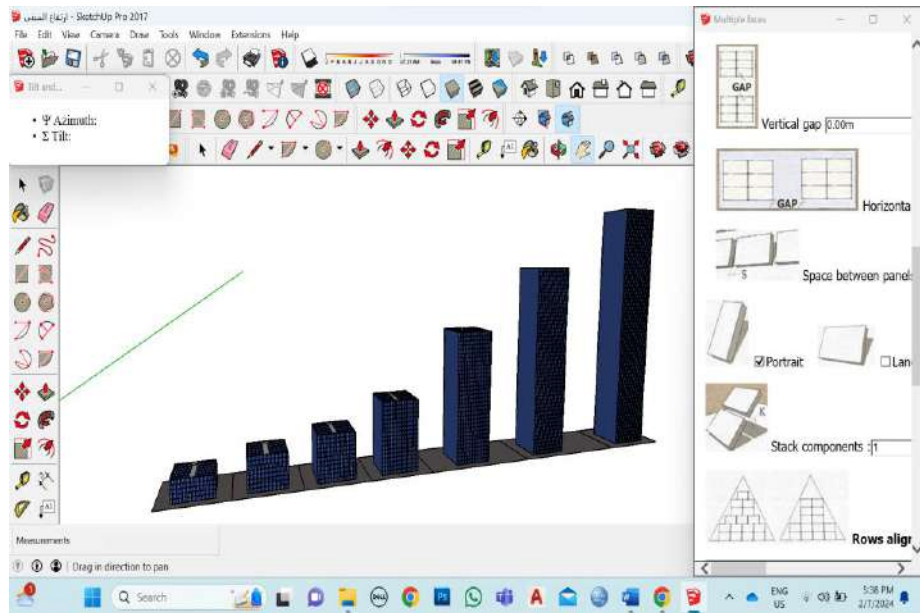
جدول رقم (٥-٦) العلاقة بين كمية الكهرباء المنتجة من السطح مقارنة بباقي الواجهات في التجربة

م	المكان	كمية الكهرباء المنتجة سنوياً للمتر	النسبة المئوية بالنسبة إلى السطح
1	السطح	269	0
2	الواجهة الجنوبية	154.4	57%
3	الواجهة الغربية	133	49%
4	الواجهة الشرقية	122	45%
5	الواجهة الشمالية	36.3	13%
	الإجمالى	714.7	100%

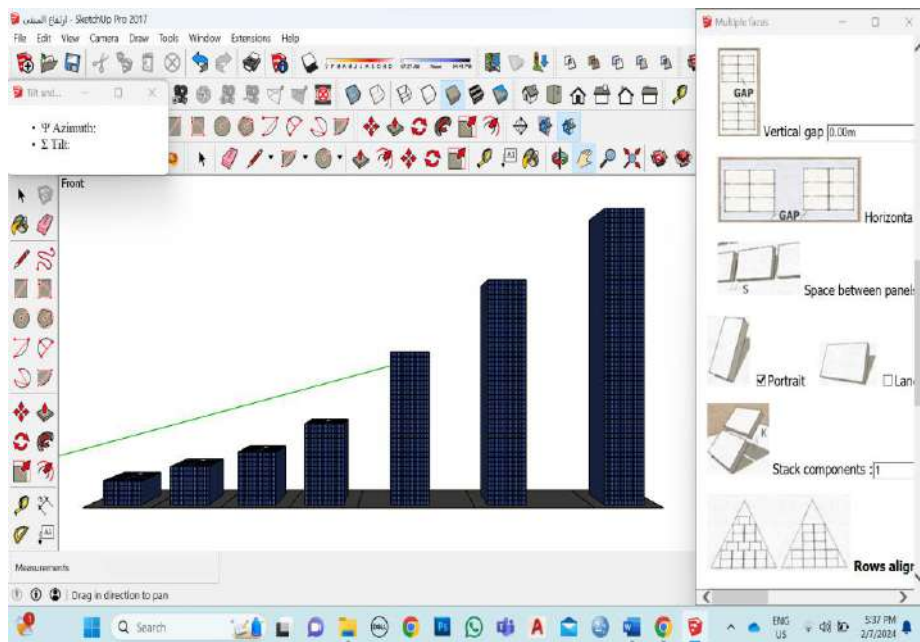
شكل (١٦-٥) مسقط أفقي للألواح الشمسية بنظام BAPV على السطح في النموذج الأولي حتى ارتفاع ٢٠ دور
المصدر: الباحث



شكل (١٧-٥) لقطة منظورية للألواح الشمسية بنظام BIPV على الواجهات في النموذج الأولي حتى ارتفاع ٢٠ دور
المصدر: الباحث

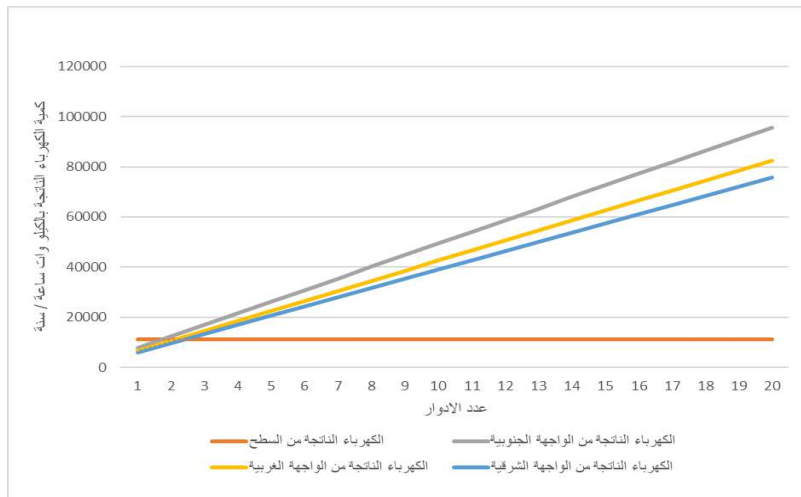


شكل (١٨-٥) واجهة منظورية للألواح الشمسية بنظام BIPV على الواجهات في النموذج الأولي حتى ارتفاع ٢٠ دور
المصدر: الباحث



جدول رقم (٧-٥) كمية الكهرباء الناتجة من النموذج الأولي من ارتفاع دور حتى ٢٠ دور

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور ٣	السطح		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية	
		النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة
1	1	35.6%	11298	24.3%	7720	20.9%	6650	19.2%	6100
2	2	25.6%	11298	28.0%	12352	24.2%	10640	22.2%	9760
3	3	20.1%	11298	30.1%	16984	26.0%	14630	23.8%	13420
4	4	16.5%	11298	31.5%	21616	27.1%	18620	24.9%	17080
5	5	14.0%	11298	32.4%	26248	27.9%	22610	25.6%	20740
6	6	12.1%	11298	33.1%	30880	28.5%	26600	26.2%	24400
7	7	10.7%	11298	33.7%	35512	29.0%	30590	26.6%	28060
8	8	9.6%	11298	34.1%	40144	29.4%	34580	26.9%	31720
9	9	8.7%	11298	34.4%	44776	29.7%	38570	27.2%	35380
10	10	7.9%	11298	34.7%	49408	29.9%	42560	27.4%	39040
11	11	7.3%	11298	35.0%	54040	30.1%	46550	27.6%	42700
12	12	6.8%	11298	35.2%	58672	30.3%	50540	27.8%	46360
13	13	6.3%	11298	35.3%	63304	30.4%	54530	27.9%	50020
14	14	5.9%	11298	35.5%	67936	30.6%	58520	28.0%	53680
15	15	5.5%	11298	35.6%	72568	30.7%	62510	28.1%	57340
16	16	5.2%	11298	35.7%	77200	30.8%	66500	28.2%	61000
17	17	4.9%	11298	35.8%	81832	30.9%	70490	28.3%	64660
18	18	4.7%	11298	35.9%	86464	31.0%	74480	28.4%	68320
19	19	4.5%	11298	36.0%	91096	31.0%	78470	28.5%	71980
20	20	4.3%	11298	36.1%	95728	31.1%	82460	28.5%	75640

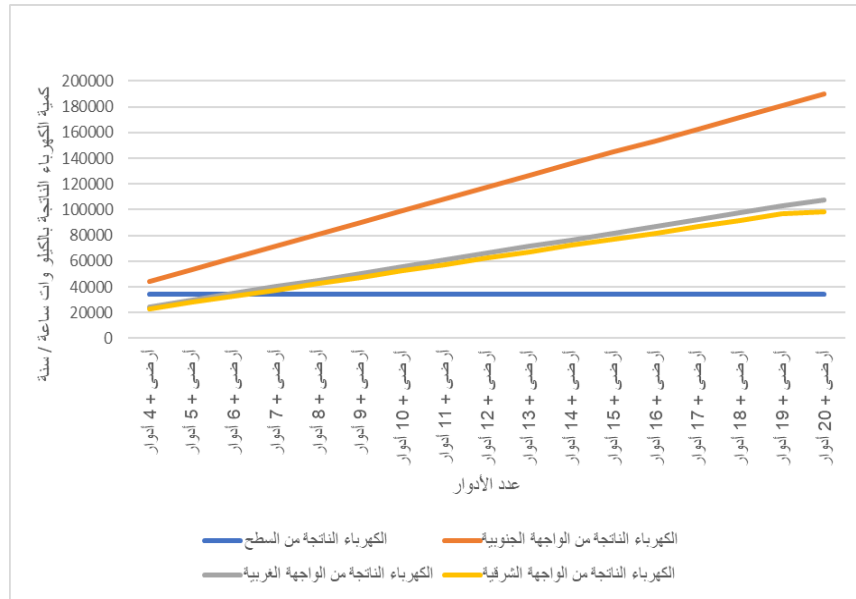


شكل (١٩-٥)
كمية الكهرباء الناتجة من النظام
للسطح والواجهات للنموذج
الأولي حتى ٢٠ دور
المصدر: الباحث

جدول رقم (٨-٥) كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي (١) لارتفاع الدور ٣ حتى ٢٠ دور

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور ٣	السطح		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية	
		النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة
1	أرضي + 4 أدوار	27.3%	34440	35.0%	44173	19.4%	24426	18.3%	23010
2	أرضي + 5 أدوار	23.7%	34440	36.7%	53301	20.4%	29559.6	19.2%	27846
3	أرضي + 6 أدوار	20.9%	34440	38.0%	62429	21.2%	34776	19.9%	32760
4	أرضي + 7 أدوار	18.8%	34440	39.0%	71557	21.8%	39992.4	20.5%	37674
5	أرضي + 8 أدوار	17.0%	34440	39.8%	80685	22.3%	45208.8	21.0%	42588
6	أرضي + 9 أدوار	15.5%	34440	40.4%	89813	22.7%	50425.2	21.4%	47502
7	أرضي + 10 أدوار	14.3%	34440	41.0%	98941	23.0%	55641.6	21.7%	52416
8	أرضي + 11 أدوار	13.2%	34440	41.5%	108069	23.3%	60858	22.0%	57330
9	أرضي + 12 أدوار	12.3%	34440	41.9%	117197	23.6%	66074.4	22.2%	62244
10	أرضي + 13 أدوار	11.5%	34440	42.2%	126325	23.8%	71290.8	22.4%	67158
11	أرضي + 14 أدوار	10.8%	34440	42.5%	135453	24.0%	76507.2	22.6%	72072
12	أرضي + 15 أدوار	10.2%	34440	42.8%	144581	24.2%	81723.6	22.8%	76986
13	أرضي + 16 أدوار	9.6%	34440	43.1%	153709	24.4%	86940	22.9%	81900
14	أرضي + 17 أدوار	9.2%	34440	43.3%	162837	24.5%	92156.4	23.1%	86814
15	أرضي + 18 أدوار	8.7%	34440	43.5%	171965	24.6%	97372.8	23.2%	91728
16	أرضي + 19 أدوار	8.3%	34440	43.7%	181093	24.7%	102589.2	23.3%	96642
17	أرضي + 20 أدوار	8.0%	34440	44.2%	190221	25.0%	107805.6	22.8%	98280

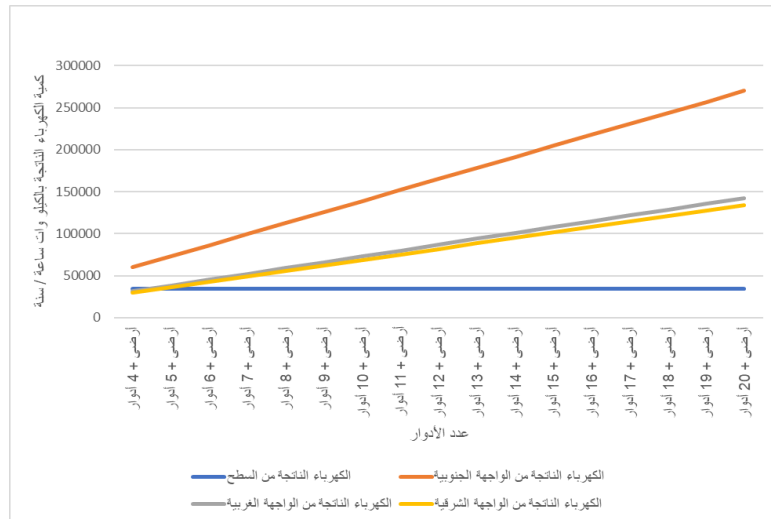
شكل (٥-٢٠)
كمية الكهرباء التفصيلية
الناتجة من النموذج التطبيقي
(١) لارتفاع الدور ٣ م
المصدر: الباحث



جدول رقم (٥-٩) كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي (١) لارتفاع الدور ٤م حتى ٢٠ دور

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور 4م	الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة
		النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء الناتجة	الكهرباء الناتجة	
1	أرضي + 4 أدوار	22%	60147	20%	31326	19%	29510	155423
2	أرضي + 5 أدوار	19%	73268.5	21%	38253.6	20%	36036	181998.1
3	أرضي + 6 أدوار	17%	86390	22%	45208.8	20%	42588	208626.8
4	أرضي + 7 أدوار	15%	99511.5	22%	52164	21%	49140	235255.5
5	أرضي + 8 أدوار	13%	112633	23%	59119.2	21%	55692	261884.2
6	أرضي + 9 أدوار	12%	125754.5	23%	66074.4	22%	62244	288512.9
7	أرضي + 10 أدوار	11%	138876	23%	73029.6	22%	68796	315141.6
8	أرضي + 11 أدوار	10%	151997.5	23%	79984.8	22%	75348	341770.3
9	أرضي + 12 أدوار	9%	165119	24%	86940	22%	81900	368399
10	أرضي + 13 أدوار	9%	178240.5	24%	93895.2	22%	88452	395027.7
11	أرضي + 14 أدوار	8%	191362	24%	100850.4	23%	95004	421656.4
12	أرضي + 15 أدوار	8%	204483.5	24%	107805.6	23%	101556	448285.1
13	أرضي + 16 أدوار	7%	217605	24%	114760.8	23%	108108	474913.8
14	أرضي + 17 أدوار	7%	230726.5	24%	121716	23%	114660	501542.5
15	أرضي + 18 أدوار	7%	243848	24%	128671.2	23%	121212	528171.2
16	أرضي + 19 أدوار	6%	256969.5	24%	135626.4	23%	127764	554799.9
17	أرضي + 20 أدوار	6%	270091	25%	142581.6	23%	134316	581428.6

شكل (٥-٢١)
كمية الكهرباء التفصيلية
الناتجة من النموذج التطبيقي
(١) لارتفاع الدور ٤م
المصدر: الباحث



ويتضح من خلال النموذج التطبيقي (١) في الجدولين أرقام (٥-٨) و(٥-٩) وشكليين (٥-٢٠) و(٥-٢١)، أن كمية الكهرباء الناتجة من السطح تمثل ٧٨٪ بالنسبة إلى الواجهة الجنوبية عند ارتفاع الدور ٣م، وتمثل ٥٧٪ عند ارتفاع الدور ٤م، وتقل كمية الكهرباء الناتجة من السطح كلما زاد ارتفاع واجهة المبنى فتبلغ ٨٪ عند ٢٠ دور لارتفاع ٣م، و٦٪ عند ٢٠ دور لارتفاع ٤م.

ومن خلال ما سبق تتضح النتائج التالية:-

أ. أن أفضل ارتفاع لدروة السطح تكون ٢م وذلك لتجنب ظهور الألواح في الواجهات، ولسهولة إجراء أعمال الصيانة والنظافة الدورية، فضلاً عن تجنب سقوط الظلال على الألواح فتقلل من كفاءتها.

ب. أن أنسب ارتفاع للدور يتراوح من ٣ إلى ٤م، حيث كلما زاد ارتفاع الدور زادت كمية الكهرباء المنتجة للنظام، كما تعمل على توفير الراحة الحرارية للفرغ الداخلي.

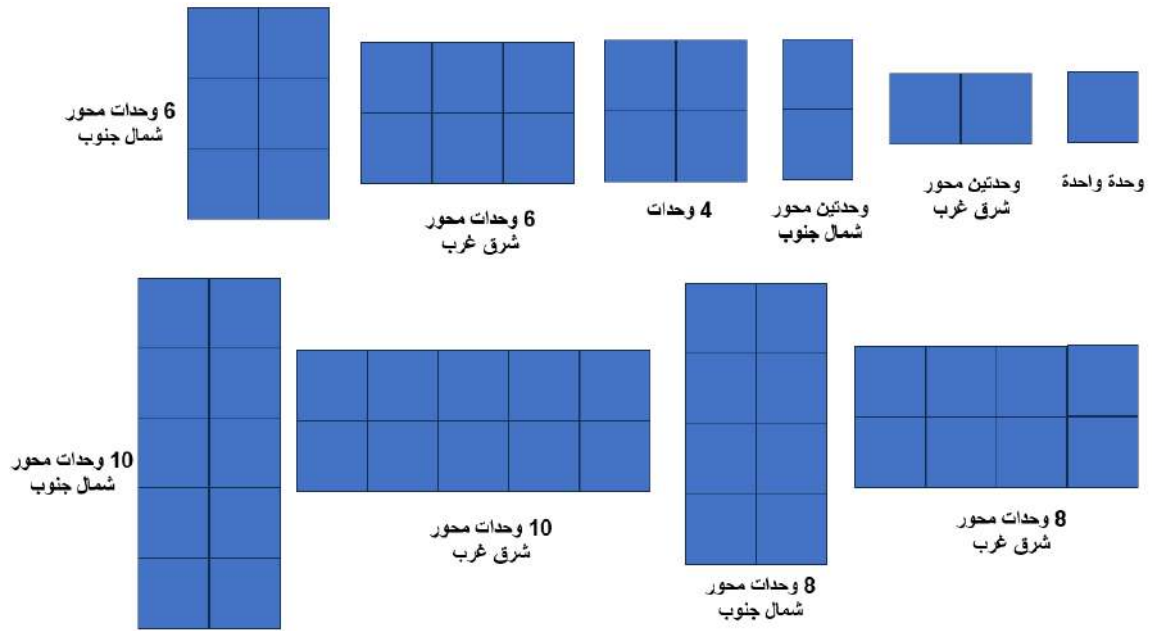
ج. لا تقل عدد الأدوار للمبنى المستخدم النظام عن ٣ أدوار أو أكثر، ويفضل استخدام النظام مع الأبراج السكنية المرتفعة ذات الطوابق التي تصل إلى ٢٠ دور أو أكثر.

٥-٢ عدد الوحدات في الدور السكني

يتمثل المحدد التصميمي الثالث في معرفة عدد الوحدات في الدور أو الطابق السكني، حيث تتأثر كمية الكهرباء الناتجة بعدد الوحدات في الدور، من خلال عاملين رئيسيين، الأول زيادة طول أو عرض الواجهة، والثاني زيادة الوحدات السكنية المستهلكة للكهرباء، وبالرجوع إلى النموذج الأولي رقم (١) ذو الشكل المربع الذي يبلغ طول ضلعه ١٠م، وبالتالي تبلغ مساحته ١٠٠ م^٢، وبافتراض إنه يمثل وحدة سكنية واحدة، نجد أن كمية الكهرباء الناتجة سنوياً تبلغ ١٢٩٣٠ ك.و.س، وبالتالي يكون نصيب الوحدة السكنية الواحدة في الدور سنوياً ١٠٨٠٠ ك.و.س/سنة وذلك طبقاً لبيانات وزارة الكهرباء والطاقة، مع مراعاة أن الوحدة السكنية سيكون لها ٤ واجهات منهم ٣ واجهات مستغليين لوضع الألواح الشمسية حيث تم استبعاد الواجهة الشمالية. وبمضاعفة عدد الوحدات في الدور بحيث تصبح وحدتين، سيكون شكل النموذج الأولي على هيئة مستطيل أبعاده (٢٠×٢٠م) محوره شرق غرب أو شمال جنوب، كما يتضح بالشكل (٥-٢٢)، وسيكون لكل وحدة سكنية ثلاث واجهات، مع مراعاة نفس الضوابط الخاصة بالواجهة الشمالية. وبمضاعفة عدد الوحدات مرة أخرى بحيث تصبح عدد الوحدات ٤ وحدات في الدور، سيكون شكل النموذج الأولي على هيئة مستطيل أبعاده (٢٠×٤م) بنفس المحاور السابقة، وسيكون لكل وحدة سكنية واجهتين، وتم عمل المحاكاة لهذا النموذج باختلاف البدائل المرتبطة بعدد الوحدات السكنية وفقاً لما هو موضح بالشكل رقم (٥-٢٣) والجدول رقم (٥-١٠)، ويتراوح نصيب الوحدة من ١٢٩٣٠ ك.و.س للوحدة السكنية الواحدة في الدور إلى ٤٠٥٣ ك.و.س في حالة وجود ١٠ وحدات سكنية في الدور، وبالتالي يتضح أنه توجد علاقة عكسية بين عدد الوحدات السكنية في الدور ونصيب الوحدة السكنية من الكهرباء، ويتلاحظ لنا من خلال عمليات المحاكاة إن الكهرباء الناتجة عن الأشكال المستطيلة ذات المحور شمال جنوب تكون أكبر من نفس الأشكال ذات المحور شرق غرب، كما يتضح بالجدول السابق رقم (٥-١٠) وفقاً لما يلي:-

- وحدتين في الدور تبلغ النسبة المئوية لزيادة الكهرباء للمحور ١٦,١٪.
 - ٦ وحدات في الدور تبلغ النسبة المئوية لزيادة الكهرباء للمحور ١١,١٪.
 - ٨ وحدات في الدور تبلغ النسبة المئوية لزيادة الكهرباء للمحور ١٧,٩٪.
 - ١٠ وحدات في الدور تبلغ النسبة المئوية لزيادة الكهرباء للمحور ٢٠,٣٪.
- بما يعنى أن نسبة الزيادة تتراوح من ١١,١٪ في حالة ٦ وحدات في الدور إلى ٢٠,٣٪ في حالة ١٠ وحدات سكنية في الدور.

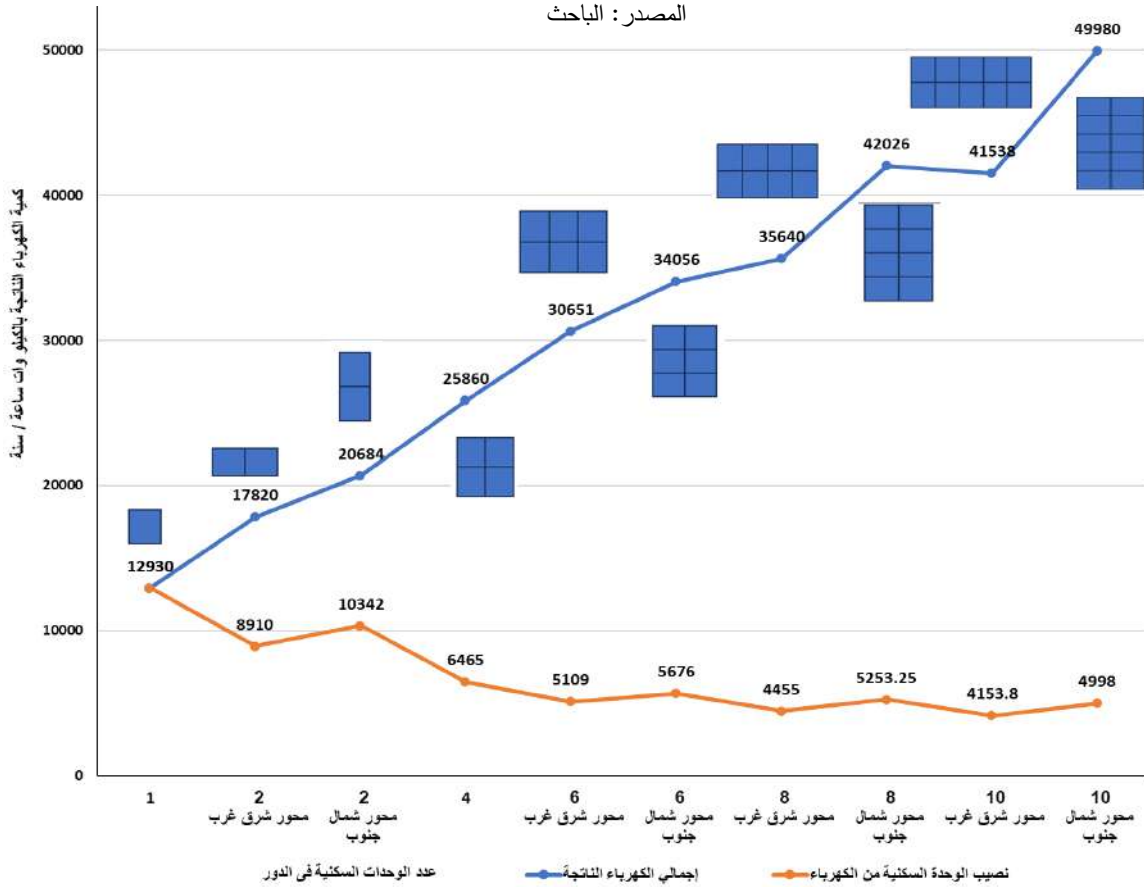
فمن خلال ما سبق يلاحظ أن الشكل المستطيل للمسقط الأفقي يكون أكثر إنتاجاً للكهرباء عندما يكون محوره شمال جنوب أي أن الضلعين الكبيرين يكونا في اتجاه الشرق والغرب.



شكل (٥-٢٢) أشكال توضح عدد الوحدات في الدور السكني من وحدة واحدة إلى ١٠ وحدات

سكنية في الدور مع اختلاف محورها











المصدر: الباحث



شكل (٥-٢٣) كمية الكهرباء الناتجة لكل وحدة بالنسبة إلى عدد الوحدات في الدور

المصدر: الباحث

جدول رقم (٥-١٠) كمية الكهرباء الناتجة من عدد الوحدات المختلفة في الدور للنماذج الأولية المختلفة

م	الأبعاد	الشكل	عدد الوحدات السكنية في الدور	اجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	النسبة المئوية لزيادة الكهرباء للمحور	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء
1	10×10		1	12930	—	12930
2	20×10 محور شرق غرب		2	17820	—	8910
2*	10×20 محور شمال جنوب		2	20684	16.1%	10342
3	20×20		4	25860	—	6465
4	30×20 محور شرق غرب		6	30651	—	5109
4*	20×30 محور شمال جنوب		6	34056	11.1%	5676
5	40×20 محور شرق غرب		8	35640	—	4455
5*	20×40 محور شمال جنوب		8	42026	17.9%	5253.25
6	50×20 محور شرق غرب		10	41538	—	4153.8
6*	20×50 محور شمال جنوب		10	49980	20.3%	4998

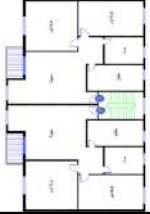

ملحوظة
استهلاك الوحدة السكنية = 900 ك.و.س/شهرياً
أي يبلغ 10800 ك.و.س/سنة طبقاً لبيانات وزارة الكهرباء والطاقة

وبتطبيق هذه المعايير على النموذج التطبيقي رقم (١) السابق ذكره، يتضح من خلال الشكل (٥-٢٤) والجدول رقم (٥-١١) أن الكهرباء الناتجة عن النموذج في حالة محوره شرق غرب تبلغ ١٢٦٠٤٩ ك.و.س/سنة، أما في حالة جعل محوره شمال جنوب بدلاً من شرق غرب تبلغ ١٣٥٩٢١ ك.و.س/سنة، أي تبلغ نسبة الزيادة ٧,٧٪.



شكل (٥-٢٤)
كمية الكهرباء الناتجة
لنموذج التطبيقي الأول
باختلاف محوره
المصدر: الباحث

جدول رقم (٥-١١) كمية الكهرباء الناتجة من النموذج التطبيقي (١) باختلاف محوره

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور 3م أرضي + 4 أدوار	الشكل	إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة
1	النموذج التطبيقي (1) محور شمال جنوب		135921	13592.1
2	النموذج التطبيقي (1) محور شرق غرب		126049	12604.9

ولاختبار معامل عدد الوحدات السكنية في الطابق ومحور الدور السكنى تم عمل دراسة تطبيقية على نموذج تطبيقي رقم (٢) وهو النموذج السكنى المطبق في عمارات مشروع دار مصر السائد تنفيذه حالياً في العديد من الامتدادات العمرانية الجديدة، وهو مخصص كإسكان اجتماعى لمحدودى ومتوسطى الدخل، والنموذج عبارة عن عمارة سكنية مكونة من ٥ طوابق وأرضى، ويضم كل طابق ٤ وحدات سكنية، وتتراوح مساحات الوحدات السكنية من ١٣٠ إلى ١٤٠ م^٢ بالأدوار المتكررة، وتتراوح مساحات الوحدات السكنية بالدور الأرضى من ١٠٠ إلى ١٥٠ م^٢، وتضم الوحدة ٣ غرف نوم، ومنطقة استقبال وطعام، ومطبخ وحمام ودورة مياه، كما يتضح برسومات المبنى شكلين (٥-٢٥) و(٥-٢٦).

ولتركيب ألواح النظام على النموذج المختار يقترح البحث إجراء التعديلات التالية:-

(١) تعديل مساحة الوحدات السكنية لتصبح ١٧٠ م^٢ في الأدوار المتكررة، و ١٥٠ م^٢ في الدور الأرضى، وذلك بسبب دواعى مقارنتها بالنموذج التطبيقي (١) من إنتاج الكهرباء للألواح المستخدمه.

(٢) تعديل ارتفاع دروة السطح من ١ إلى ٢م، وذلك بسبب تثبيت نظام BAPV على السطح، ووضع الألواح بشكل مائل بزاوية ٣٠ ° ناحية الجنوب، وتبلغ أبعاد اللوح المقترح (٩٩٢×١٦٤٠) مم، بقدرة ٢٥٠ وات، وبكفاءة ١٦٪.

(٣) تم تثبيت ألواح BIPV على الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية، كما هو موضح بالشكل (٥-٢٧)، وتبلغ أبعاد الألواح المقترحة (١٠٠٠×١٣٠٠) مم عند منسوب الفتحات، و(١٠٠٠×١٧٠٠) مم بين منسوب عتب الفتحات وجلسة الشباك للأدوار المتكررة و(٨٠٠×١٠٠٠) مم أسفل جلسة الشباك للدور الأول، و(١٠٠٠×١٠٠٠) لأرتفاع الدروة وما بين الفتحات للأدوار المتكررة.

(٤) تعديل أبعاد فتحات النوافذ لتصبح (٣×٢) م لغرف النوم، و(١,٧×١,٥) للسلم الرئيسى، لئى تتناسب مع الموديول المقترح للألواح، كما تم تعديل فراغ السلم وإزاحته على الواجهة الجنوبية لإعطاء فراغ لدخول الوحدتين السكنيتين الملاصقة للسلم بدون جرح خصوصية الوحدة السكنية، فضلاً عن إعطاء مساحة مناسبة لفراغ السلم.

(٥) عدم تثبيت ألواح BIPV في الواجهة الشمالية، وذلك بسبب ضعف إنتاجها كما سبق ذكره.

(٦) عدم تثبيت ألواح BIPV في الدور الأرضى، حتى لا يكون عرضه للتلف أو الكسر من قبل المشاة.



ب- المسقط الأفقي للدور المتكرر

أ- المسقط الأفقي للدور الأرضي



د- الواجهة الشمالية

ج- الواجهة الجنوبية



و- الواجهة الغربية

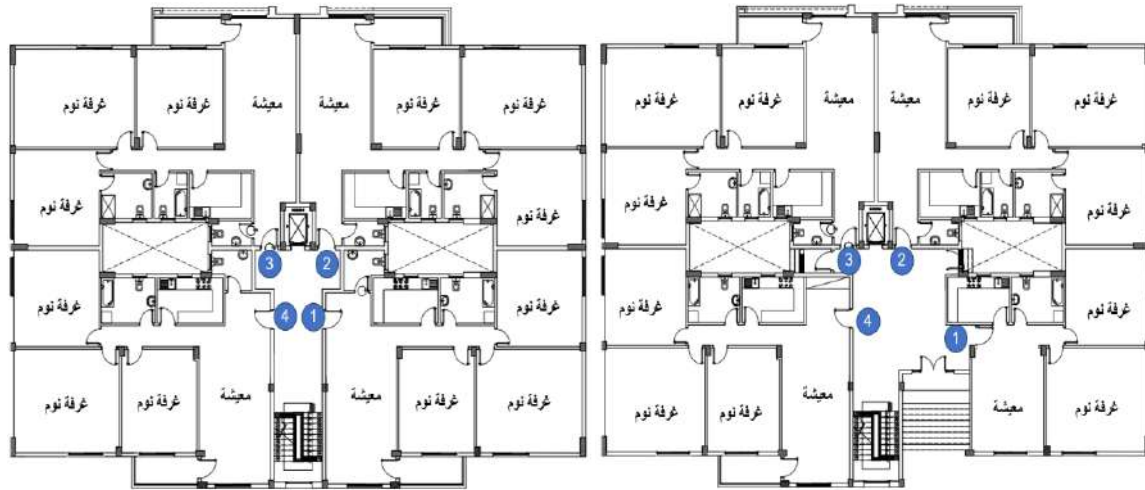
هـ- الواجهة الشرقية

شكل (٥-٢٥) نموذج عمارة سكنية لمشروع دار مصر قبل التعديل

المصدر: <https://mhuc.gov.eg>

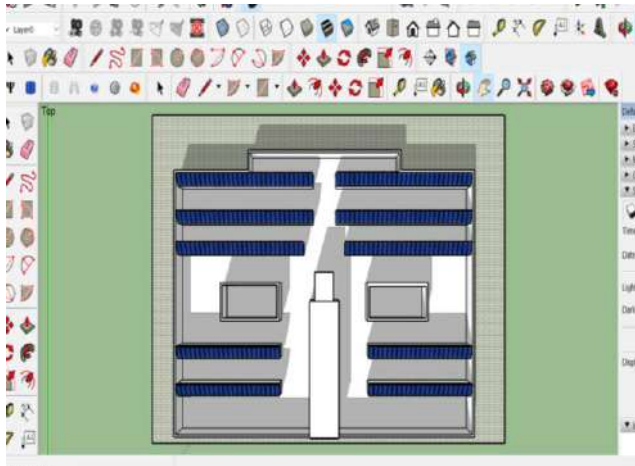


شكل (٥-٢٦)
زيارة مشروع دار مصر بمدينة
٦ أكتوبر
المصدر:
تصوير الباحث
في ٢٥-١٠-٢٠٢٣

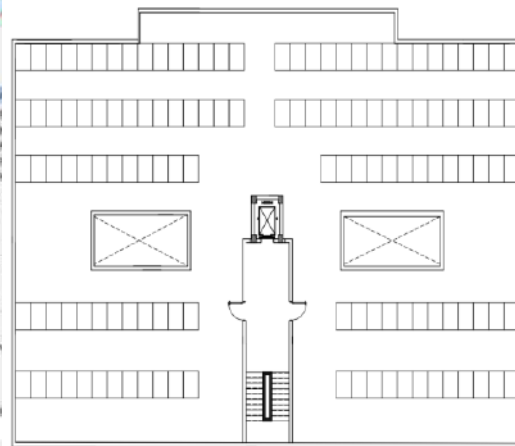


ب- المسقط الأفقي للدور المتكرر

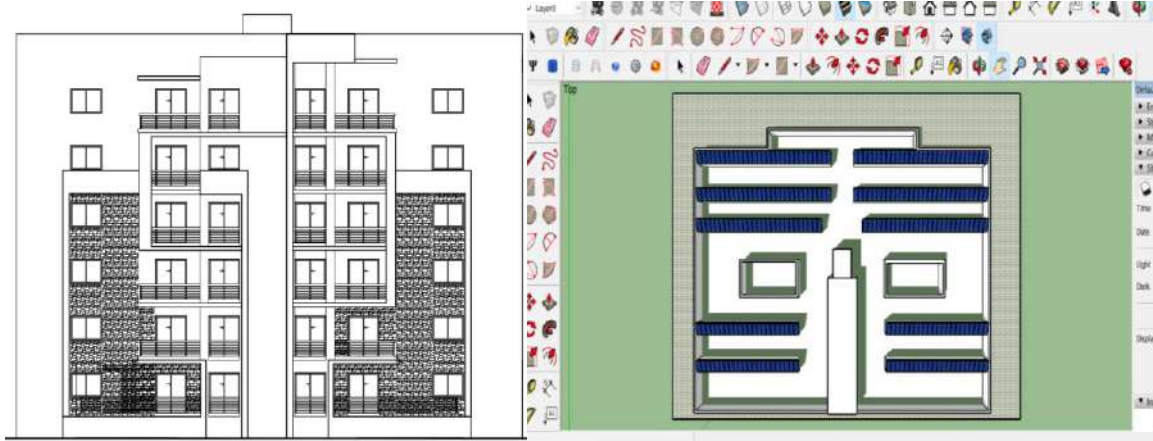
أ- المسقط الأفقي للدور الأرضي



د- المسقط الأفقي للمسح بنظام BAPV وتأثير الظل في فصل الشتاء الممثل في شهر يناير

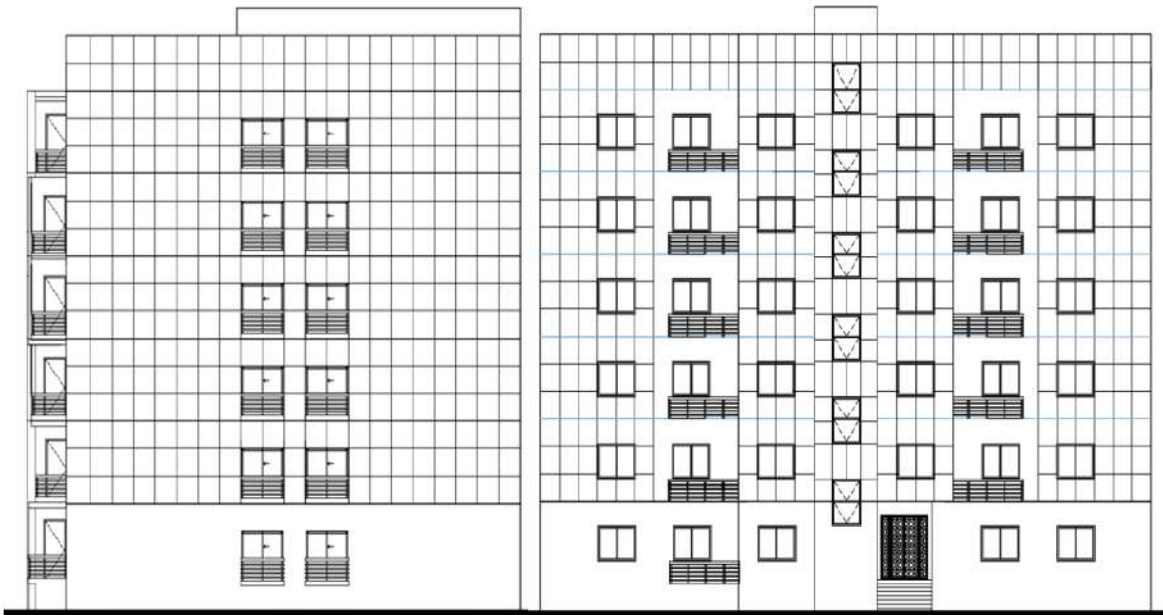


ج- المسقط الأفقي للمسح بنظام BAPV



و- الواجهة الشمالية

هـ- المسقط الأفقي للسطح بنظام BAPV وتأثير الظل في فصل الصيف الممثل في شهر يوليو



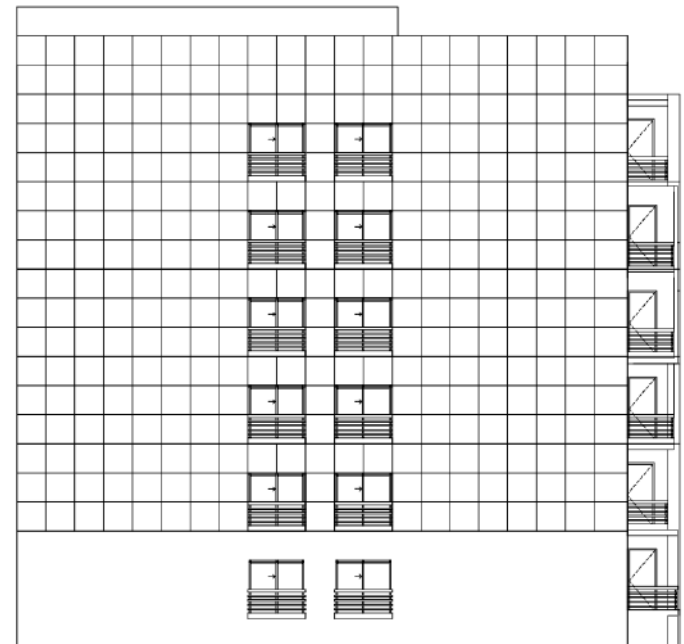
ش- الواجهة الغربية بنظام BIPV

س- الواجهة الجنوبية بنظام BIPV

ص- الواجهة الشرقية بعد تثبيت ألواح الطاقة الكهروضوئية بنظام BIPV

شكل (٥-٢٧)

نموذج عمارة سكنية لمشروع دار مصر بعد التعديل
المصدر: الباحث

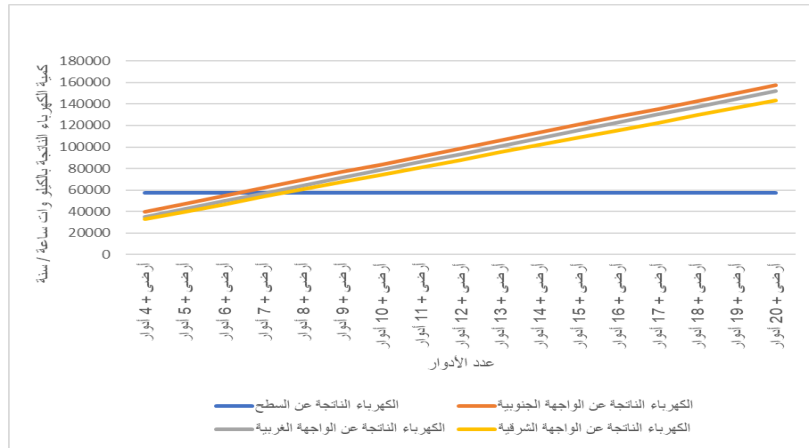


ويتضح من خلال الشكلين (٢٨-٥) و(٢٩-٥) والجدول رقم (٥-١٢)، إن إجمالي كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر المكون من أرضى و٤ طوابق تبلغ ١٦٥٤٨٨ ك.و.س/سنة، حيث إن إجمالي عدد الوحدات في النموذج تبلغ ٢٠ وحدة، فتبلغ نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ٨٢٧٨,٥ ك.و.س/سنة، وبفرض أن استهلاك الوحدة السكنية ٩٠٠ ك.و.س/شهرياً أي تبلغ في السنة ١٠٨٠٠ ك.و.س/سنة طبقاً لبيانات وزارة الكهرباء والطاقة. وبمقارنة إجمالي كمية الكهرباء الناتجة من النموذج التطبيقي رقم (١) المكون من أرضى و٤ طوابق تبلغ ١٢٦٠٤٩ ك.و.س/سنة، حيث إن إجمالي عدد الوحدات في النموذج التطبيقي تبلغ ١٠ وحدات، فتبلغ نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ١٢٦٠٤,٩ ك.و.س/سنة. ولذلك يتضح أن العلاقة بين ارتفاع المبنى ونصيب الوحدة السكنية من الكهرباء علاقة عكسية، حيث كلما زاد ارتفاع المبنى انخفض نصيب الوحدة السكنية من إجمالي الكهرباء الناتج من نموذج دار مصر.

وعند تعديل محور المسقط الأفقى للنموذج التطبيقي (٢) وهو النموذج السكنى المطبق في عمارات مشروع دار مصر، بحيث يكون محوره شمال جنوب أي أن الضلعين الكبيرين يكونا اتجاه الشرق والغرب، يتضح لنا من خلال الشكلين (٣٠-٥) و(٣١-٥) والجدول رقم (٥-١٣)، إن إجمالي كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر المكون من أرضى و٤ طوابق تبلغ ١٧٠٠٨٨ ك.و.س/سنة، حيث إن إجمالي عدد الوحدات في النموذج تبلغ ٢٠ وحدة، فتبلغ نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ٨٥٠٤,٥ ك.و.س/سنة. وبمقارنة إجمالي كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر فكانت إجمالي كمية الكهرباء الناتجة ١٦٥٤٨٨ ك.و.س/سنة، أي أن بلغت نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ٨٢٧٨,٥ ك.و.س/سنة، مما يعنى أنه بعد تعديل المحور للنموذج التطبيقي (٢) ليكون المحور شمال جنوب زادت كمية الكهرباء الناتجة من النظام عن نموذج دار مصر محور شرق غرب، كما يتضح بالشكل (٥-٣٢) والجدول رقم (٥-١٤).

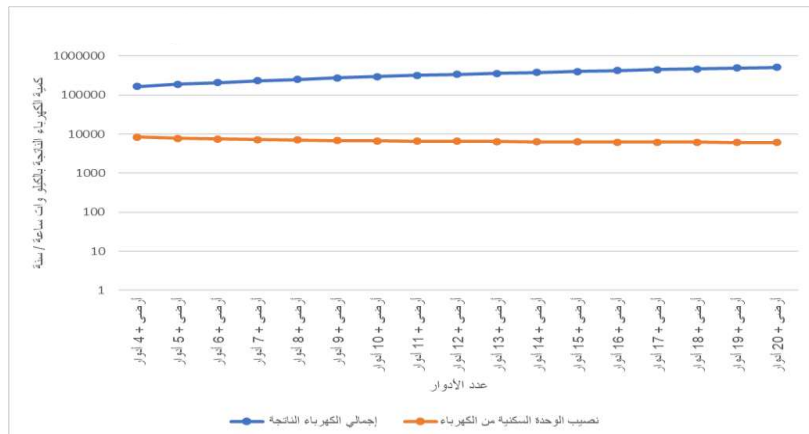
شكل (٥-٢٨)

كمية الكهرباء التصيلية الناتجة من نموذج دار مصر محور شرق غرب
المصدر: الباحث



شكل (٥-٢٩)

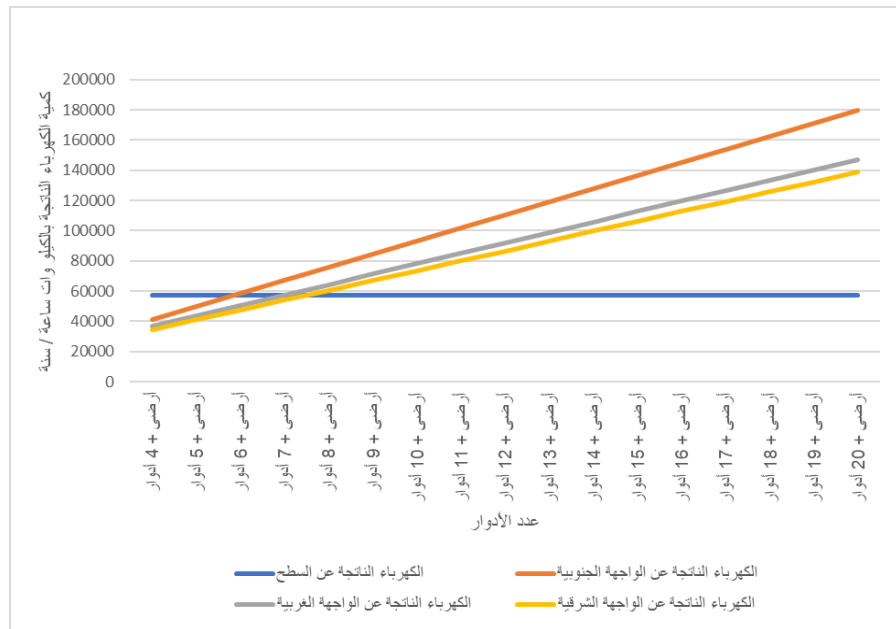
كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء للنموذج محور شرق غرب
المصدر: الباحث



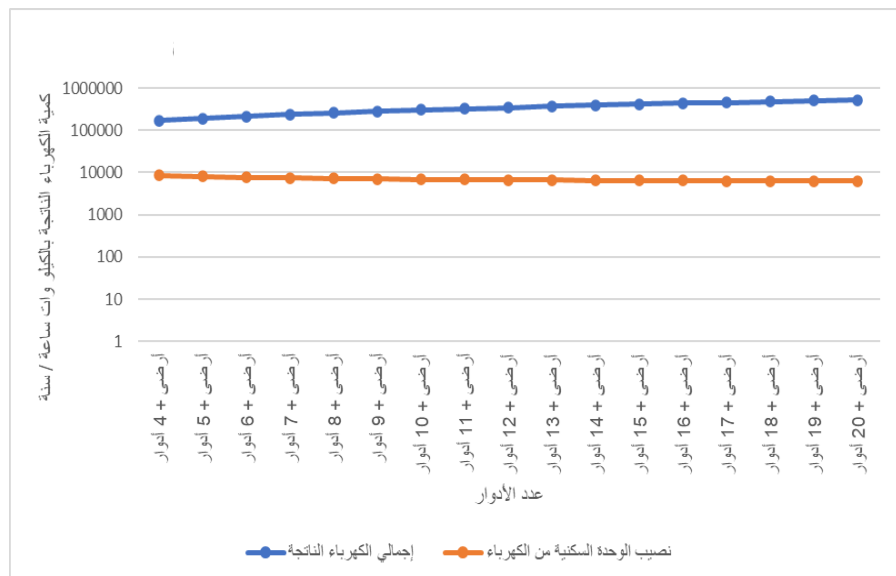
جدول رقم (٥-١٢) كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من نموذج دار مصر حتى ٢٠ دور محور شرق غرب

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور م3	السطح		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة	النسبة المئوية لإجمالي استهلاك الوحدة من الكهرباء
		النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة			
1	أرضي + 4 أدوار	34.7%	57400	24.2%	40098	21.2%	35052	19.9%	33020	165570	8278.5	77%
2	أرضي + 5 أدوار	30.7%	57400	25.4%	47433	22.6%	42366	21.3%	39910	187109	7796.2	72%
3	أرضي + 6 أدوار	27.5%	57400	26.2%	54768	23.8%	49680	22.4%	46800	208648	7451.7	69%
4	أرضي + 7 أدوار	24.9%	57400	27.0%	62103	24.8%	56994	23.3%	53690	230187	7193.3	67%
5	أرضي + 8 أدوار	22.8%	57400	27.6%	69438	25.5%	64308	24.1%	60580	251726	6992.4	65%
6	أرضي + 9 أدوار	21.0%	57400	28.1%	76773	26.2%	71622	24.7%	67470	273265	6831.6	63%
7	أرضي + 10 أدوار	19.5%	57400	28.5%	84108	26.8%	78936	25.2%	74360	294804	6700.1	62%
8	أرضي + 11 أدوار	18.1%	57400	28.9%	91443	27.3%	86250	25.7%	81250	316343	6590.5	61%
9	أرضي + 12 أدوار	17.0%	57400	29.2%	98778	27.7%	93564	26.1%	88140	337882	6497.7	60%
10	أرضي + 13 أدوار	16.0%	57400	29.5%	106113	28.1%	100878	26.4%	95030	359421	6418.2	59%
11	أرضي + 14 أدوار	15.1%	57400	29.8%	113448	28.4%	108192	26.8%	101920	380960	6349.3	59%
12	أرضي + 15 أدوار	14.3%	57400	30.0%	120783	28.7%	115506	27.0%	108810	402499	6289.0	58%
13	أرضي + 16 أدوار	13.5%	57400	30.2%	128118	29.0%	122820	27.3%	115700	424038	6235.9	58%
14	أرضي + 17 أدوار	12.9%	57400	30.4%	135453	29.2%	130134	27.5%	122590	445577	6188.6	57%
15	أرضي + 18 أدوار	12.3%	57400	30.6%	142788	29.4%	137448	27.7%	129480	467116	6146.3	57%
16	أرضي + 19 أدوار	11.7%	57400	30.7%	150123	29.6%	144762	27.9%	136370	488655	6108.2	57%
17	أرضي + 20 أدوار	11.3%	57400	30.9%	157458	29.8%	152076	28.1%	143260	510194	6073.7	56%

شكل (٥-٣٠)
كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار
مصر محور شمال جنوب
المصدر: الباحث



شكل (٥-٣١)
كمية الكهرباء الناتجة من نموذج
دار مصر لكل وحدة سكنية
بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء
لنموذج محور شمال جنوب
المصدر: الباحث



جدول رقم (٥-١٣) كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من نموذج دار مصر حتى ٢٠ دور محور شمال جنوب

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور 3م	السطح		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة	النسبة المئوية لإجمالي استهلاك الوحدة من الكهرباء
		الكهرباء الناتجة لإجمالي الكهرباء	النسبة المئوية	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية			
1	أرضي + 4 أدوار	57400	33.7%	41402	24.3%	36708	21.6%	34580	20.3%	170090	8504.5	79%
2	أرضي + 5 أدوار	57400	29.9%	50041	26.0%	43608	22.7%	41080	21.4%	192129	8005.4	74%
3	أرضي + 6 أدوار	57400	26.8%	58680	27.4%	50508	23.6%	47580	22.2%	214168	7648.9	71%
4	أرضي + 7 أدوار	57400	24.3%	67319	28.5%	57408	24.3%	54080	22.9%	236207	7381.5	68%
5	أرضي + 8 أدوار	57400	22.2%	75958	29.4%	64308	24.9%	60580	23.5%	258246	7173.5	66%
6	أرضي + 9 أدوار	57400	20.5%	84597	30.2%	71208	25.4%	67080	23.9%	280285	7007.1	65%
7	أرضي + 10 أدوار	57400	19.0%	93236	30.8%	78108	25.8%	73580	24.3%	302324	6871.0	64%
8	أرضي + 11 أدوار	57400	17.7%	101875	31.4%	85008	26.2%	80080	24.7%	324363	6757.6	63%
9	أرضي + 12 أدوار	57400	16.6%	110514	31.9%	91908	26.5%	86580	25.0%	346402	6661.6	62%
10	أرضي + 13 أدوار	57400	15.6%	119153	32.3%	98808	26.8%	93080	25.3%	368441	6579.3	61%
11	أرضي + 14 أدوار	57400	14.7%	127792	32.7%	105708	27.1%	99580	25.5%	390480	6508.0	60%
12	أرضي + 15 أدوار	57400	13.9%	136431	33.1%	112608	27.3%	106080	25.7%	412519	6445.6	60%
13	أرضي + 16 أدوار	57400	13.2%	145070	33.4%	119508	27.5%	112580	25.9%	434558	6390.6	59%
14	أرضي + 17 أدوار	57400	12.6%	153709	33.7%	126408	27.7%	119080	26.1%	456597	6341.6	59%
15	أرضي + 18 أدوار	57400	12.0%	162348	33.9%	133308	27.9%	125580	26.2%	478636	6297.8	58%
16	أرضي + 19 أدوار	57400	11.5%	170987	34.2%	140208	28.0%	132080	26.4%	500675	6258.4	58%
17	أرضي + 20 أدوار	57400	11.0%	179626	34.4%	147108	28.1%	138580	26.5%	522714	6222.8	58%

جدول رقم (٥-١٤) كمية الكهرباء الناتجة من وضعين نموذج دار مصر النموذج التطبيقي (٢)

الكهرباء الناتجة		المحور		المكان
من محور شرق غرب	من محور شمال جنوب	شرق غرب	شمال جنوب	
●	57398	●	√	السطح
57318	●	√	●	
●	41402	●	√	الواجهة الجنوبية
40098	●	√	●	
●	36708	●	√	الواجهة الغربية
35052	●	√	●	
●	34580	●	√	الواجهة الشرقية
33020	●	√	●	
165488	170088	إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة		
—	2.7%	النسبة المئوية للزيادة %		
8278.5	8504.5	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة		

شكل (٥-٣٢)
كمية الكهرباء الناتجة من
وضعين نموذج دار مصر
لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى
إجمالي الكهرباء
المصدر: الباحث



وللتأكد من النتائج تم عمل دراسة تطبيقية على نموذج تطبيقي رقم (٣) وهو النموذج السكنى المطبق في عمارات مخصصة للإسكان الاجتماعى لمحدودى ومتوسطى الدخل، والواقع بمدينة الفيوم ومن تصميم المعماري مدحت درة وتم تنفيذه عام ١٩٨٨م، والنموذج عبارة عن عمارة سكنية مكونة من ٤ طوابق وأرضى، ويضم كل طابق ٦ وحدات سكنية، وتتراوح مساحة الوحدات السكنية من ١٢٠ إلى ١٦٠ م^٢ بالأدوار المتكررة، وتضم الوحدة من ٢ إلى ٣ غرف نوم، ومنطقة معيشة، وعدد ٢ حمام ومطبخ، كما يتضح بالمسقط الأفقى (٥-٣٣).

ولتركيب ألواح النظام على النموذج المختار يقترح البحث إجراء التعديلات التالية:-

(١) تعديل مساحة الوحدات السكنية لتصبح ١٧٠ م^٢ في الأدوار المتكررة، وذلك بسبب دواعى مقارنتها بالنموذج التطبيقي (١) من إنتاج الكهرباء للألواح المستخدمه.

(٢) تعديل ارتفاع دروة السطح من ١ إلى ٢م، وذلك بسبب تثبيت نظام BAPV على السطح، ووضع الألواح بشكل مائل بزاوية ٣٠° ناحية الجنوب، وتبلغ أبعاد اللوح المقترح (٩٩٢×١٦٤٠) مم، بقدرة ٢٥٠ وات، وبكفاءة ١٦٪.

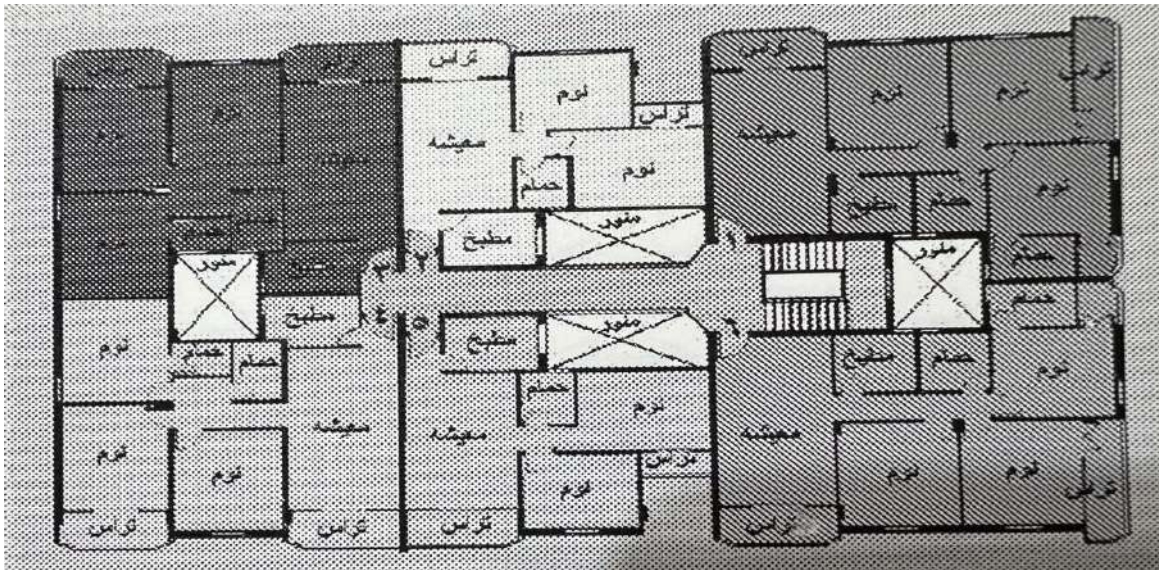
(٣) تم تثبيت ألواح BIPV على الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية، كما هو موضح بالشكل (٥-٣٤)، وتبلغ أبعاد الألواح المقترحة (١٠٠٠×١٣٠٠) مم عند منسوب الفتحات، و(١٠٠٠×١٧٠٠) مم بين منسوب عتب الفتحات وجلسة الشباك للأدوار المتكررة و(٨٠٠×١٠٠٠) مم أسفل جلسة الشباك للدور الأول، و(١٠٠٠×١٠٠٠) لأرتفاع الدروة وما بين الفتحات للأدوار المتكررة.

(٤) تعديل أبعاد فتحات النوافذ لتصبح (٣×١,٣م) لغرف النوم، و(٤×٣م) للشرفات، ودرابزين الشرفات بارتفاع ١م لسهولة وضع ألواح BIPV عليه، لكى تتناسب مع الموديول المقترح للألواح، كما تم إضافة مساعد للنموذج التطبيقي لسهولة الحركة.

(٥) عدم تثبيت ألواح BIPV في الواجهة الشمالية، وذلك بسبب ضعف إنتاجها كما سبق ذكره.

(٦) عدم تثبيت ألواح BIPV في الدور الأرضى، حتى لا يكون عرضه للتلف أو الكسر من قبل المشاة.

وبتطبيق المعايير السابق ذكرها على النموذج التطبيقي (٣)، يتضح من خلال الأشكال من (٥-٣٥) إلى (٥-٣٩) والجداول أرقام من (٥-١٥) إلى (٥-١٧) أن الكهرباء الناتجة عن النموذج في حالة محوره شرق غرب تبلغ ٢٤٤٢٨٨ ك.و.س/سنة، كما تبلغ نصيب الوحدة السكنية ٨١٤٢,٩ ك.و.س/سنة، أما في حالة جعل محوره شمال جنوب بدلاً من شرق غرب تبلغ ٢٦٠٨٧٨ ك.و.س/سنة، وتبلغ نصيب الوحدة السكنية ٨٦٩٥,٩ ك.و.س/سنة، أي بنسبة زيادة ٦,٨٪.

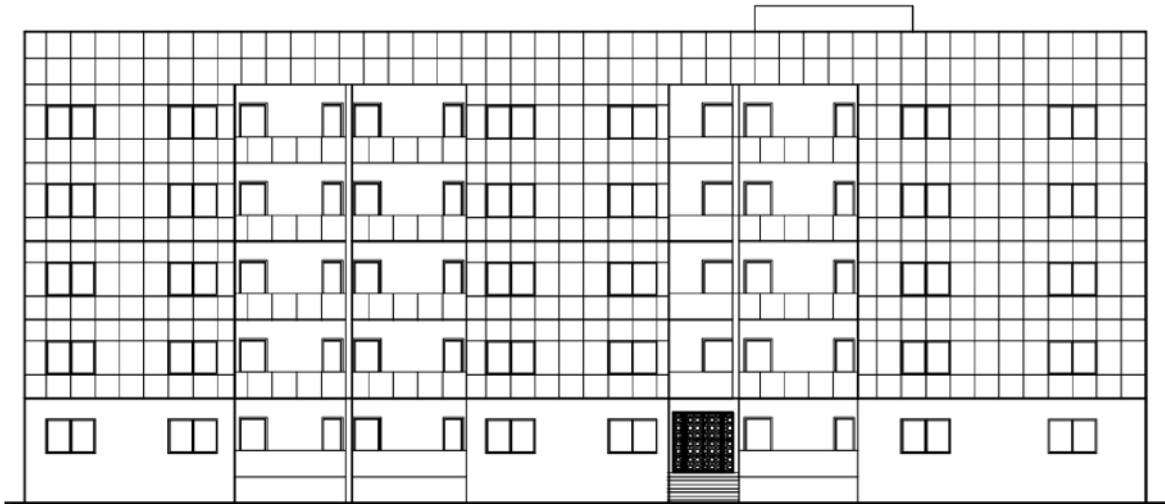


شكل (٥-٣٣) المسقط الأفقى للنموذج التطبيقي (٣) ٦ وحدات في الدور قبل التعديل

المصدر: الباحث



أ- المسقط الأفقي للدور المتكرر



ب- الواجهة الجنوبية بعد تثبيت ألواح الطاقة الكهروضوئية بنظام BIPV

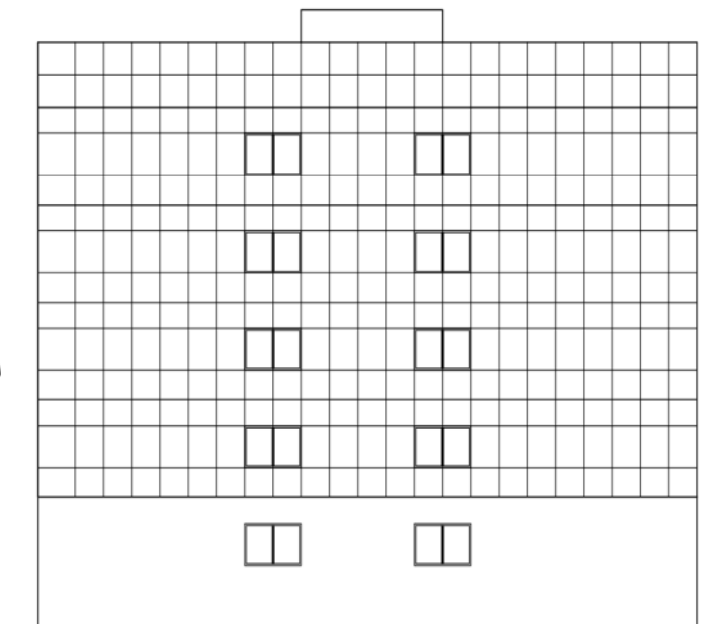
ج- الواجهة الشرقية بعد تثبيت ألواح الطاقة الكهروضوئية بنظام BIPV

شكل (٥-٣٤)

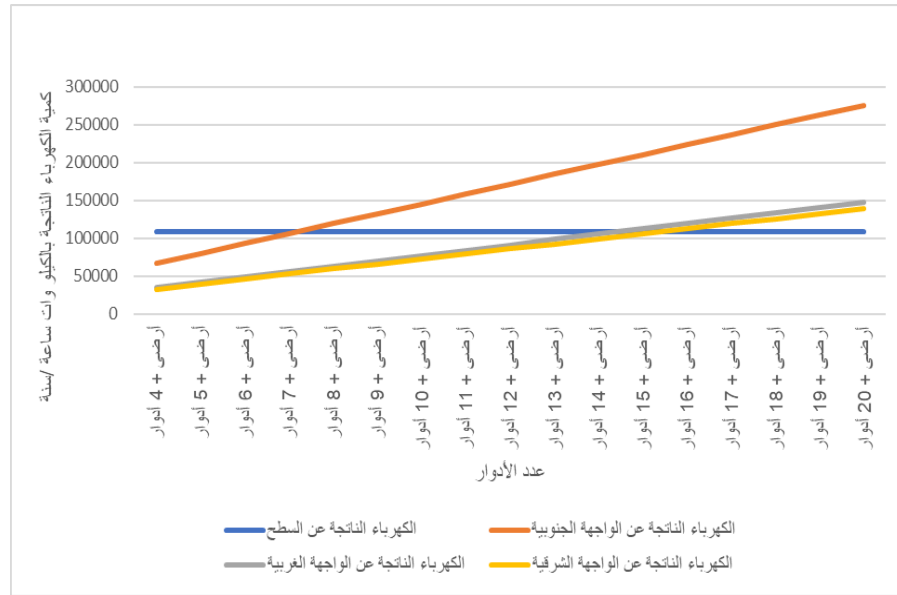
النموذج التطبيقي رقم (٣) ٦ وحدات في الدور

بعد التعديل

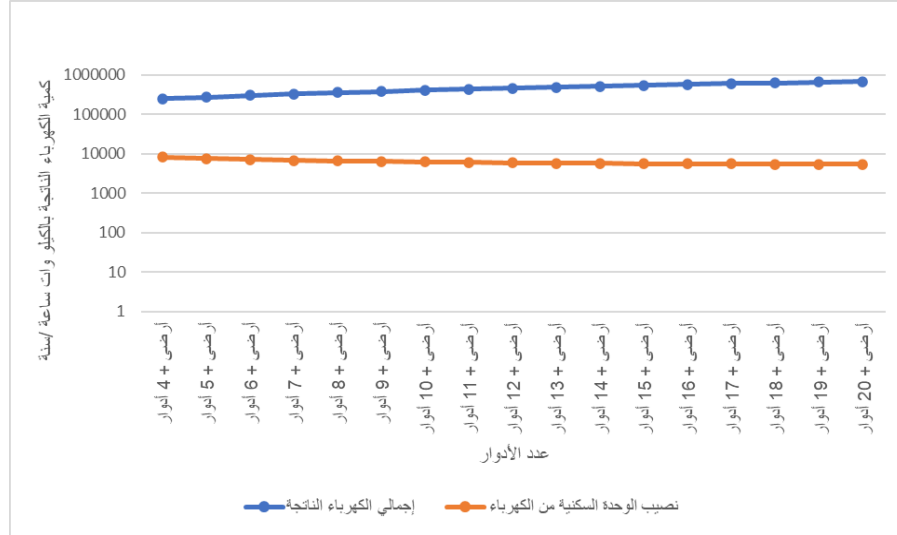
المصدر: الباحث



شكل (٣٥-٥)
كمية الكهرباء التفصيلية
الناجمة من النموذج
التطبيقي رقم (٣) محور
شرق غرب
المصدر: الباحث



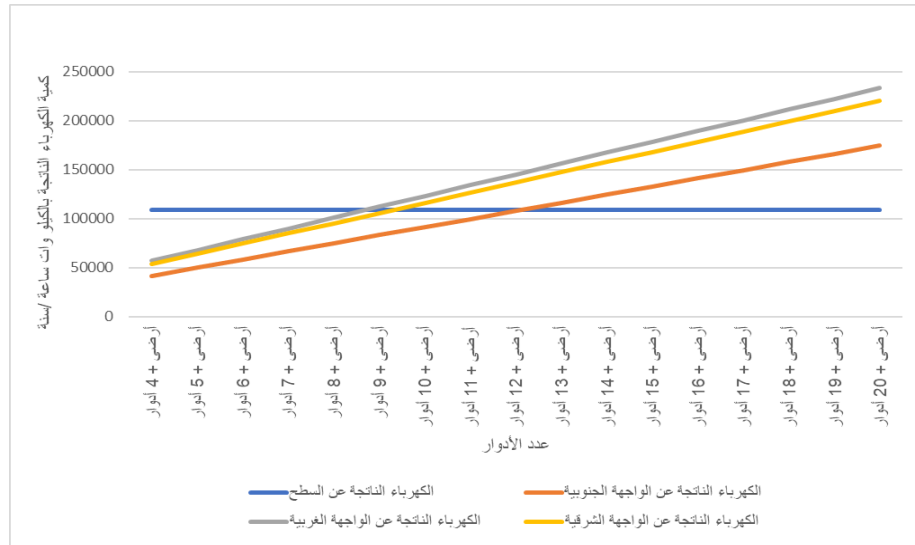
شكل (٣٦-٥)
كمية الكهرباء الناتجة من
النموذج التطبيقي رقم (٣)
لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى
إجمالي الكهرباء للنموذج
محور شرق غرب
المصدر: الباحث



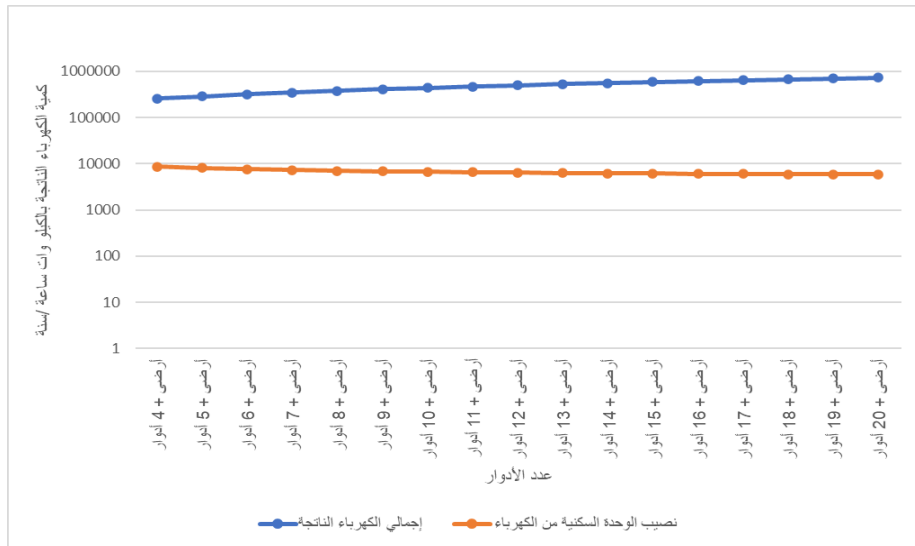
جدول رقم (٥-١٥) كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي رقم (٣) حتى ٢٠ دور محور شرق غرب

م	عدد الأدوار لاارتفاع الدور 3	السطح		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة	النسبة المئوية لإجمالي استهلاك الوحدة من الكهرباء
		الكهرباء الناتجة لإجمالي الكهرباء	النسبة المئوية	الكهرباء الناتجة لإجمالي الكهرباء	النسبة المئوية	الكهرباء الناتجة لإجمالي الكهرباء	النسبة المئوية	الكهرباء الناتجة لإجمالي الكهرباء	النسبة المئوية			
1	أرضي + 4 أدوار	109060	44.6%	67156	27.5%	35052	14.3%	33020	13.5%	244288	8142.9	75%
2	أرضي + 5 أدوار	109060	40.2%	80196	29.6%	42090	15.5%	39650	14.6%	270996	7527.7	70%
3	أرضي + 6 أدوار	109060	36.6%	93236	31.3%	49128	16.5%	46280	15.5%	297704	7088.2	66%
4	أرضي + 7 أدوار	109060	33.6%	106276	32.8%	56166	17.3%	52910	16.3%	324412	6758.6	63%
5	أرضي + 8 أدوار	109060	31.1%	119316	34.0%	63204	18.0%	59540	17.0%	351120	6502.2	60%
6	أرضي + 9 أدوار	109060	28.9%	132356	35.0%	70242	18.6%	66170	17.5%	377828	6297.1	58%
7	أرضي + 10 أدوار	109060	27.0%	145396	35.9%	77280	19.1%	72800	18.0%	404536	6129.3	57%
8	أرضي + 11 أدوار	109060	25.3%	158436	36.7%	84318	19.6%	79430	18.4%	431244	5989.5	55%
9	أرضي + 12 أدوار	109060	23.8%	171476	37.4%	91356	19.9%	86060	18.8%	457952	5871.2	54%
10	أرضي + 13 أدوار	109060	22.5%	184516	38.1%	98394	20.3%	92690	19.1%	484660	5769.8	53%
11	أرضي + 14 أدوار	109060	21.3%	197556	38.6%	105432	20.6%	99320	19.4%	511368	5681.9	53%
12	أرضي + 15 أدوار	109060	20.3%	210596	39.1%	112470	20.9%	105950	19.7%	538076	5605.0	52%
13	أرضي + 16 أدوار	109060	19.3%	223636	39.6%	119508	21.2%	112580	19.9%	564784	5537.1	51%
14	أرضي + 17 أدوار	109060	18.4%	236676	40.0%	126546	21.4%	119210	20.2%	591492	5476.8	51%
15	أرضي + 18 أدوار	109060	17.6%	249716	40.4%	133584	21.6%	125840	20.4%	618200	5422.8	50%
16	أرضي + 19 أدوار	109060	16.9%	262756	40.7%	140622	21.8%	132470	20.5%	644908	5374.2	50%
17	أرضي + 20 أدوار	109060	16.2%	275796	41.1%	147660	22.0%	139100	20.7%	671616	5330.3	49%

شكل (٣٧-٥)
كمية الكهرباء المتصلة
الناتجة من النموذج
التطبيقي رقم (٣) محور
شمال جنوب
المصدر: الباحث



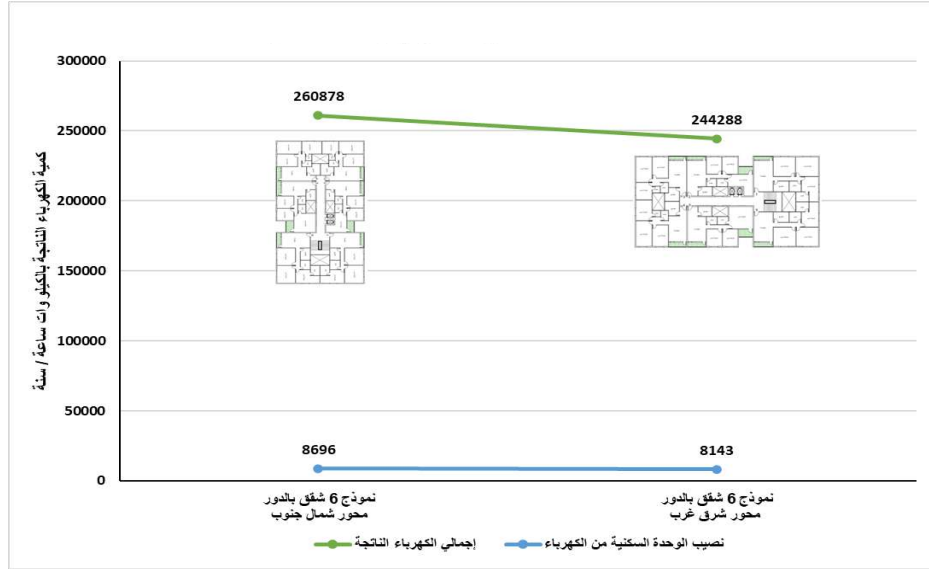
شكل (٣٨-٥)
كمية الكهرباء الناتجة من
النموذج التطبيقي رقم (٣)
لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى
إجمالي الكهرباء للنموذج
محور شمال جنوب
المصدر: الباحث



جدول رقم (٥-١٦) كمية الكهرباء الناتجة المتصلة من النموذج التطبيقي رقم (٣) حتى ٢٠ دور محور شمال جنوب

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور م	الواجهة الجنوبية			الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		النسبة المئوية لإجمالي استهلاك الكهرباء	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة	إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة
		النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة				
1	أرضي + 4 أدوار	15.9%	41402	21.8%	56856	20.5%	53560	81%	8695.9	260878	
2	أرضي + 5 أدوار	17.1%	49715	23.4%	67896	22.0%	63960	75%	8073.1	290631	
3	أرضي + 6 أدوار	18.1%	58028	24.6%	78936	23.2%	74360	71%	7628.2	320384	
4	أرضي + 7 أدوار	18.9%	66341	25.7%	89976	24.2%	84760	68%	7294.5	350137	
5	أرضي + 8 أدوار	19.7%	74654	26.6%	101016	25.0%	95160	65%	7035.0	379890	
6	أرضي + 9 أدوار	20.3%	82967	27.4%	112056	25.8%	105560	63%	6827.4	409643	
7	أرضي + 10 أدوار	20.8%	91280	28.0%	123096	26.4%	115960	62%	6657.5	439396	
8	أرضي + 11 أدوار	21.2%	99593	28.6%	134136	26.9%	126360	60%	6516.0	469149	
9	أرضي + 12 أدوار	21.6%	107906	29.1%	145176	27.4%	136760	59%	6396.2	498902	
10	أرضي + 13 أدوار	22.0%	116219	29.5%	156216	27.8%	147160	58%	6293.5	528655	
11	أرضي + 14 أدوار	22.3%	124532	30.0%	167256	28.2%	157560	57%	6204.5	558408	
12	أرضي + 15 أدوار	22.6%	132845	30.3%	178296	28.6%	167960	57%	6126.7	588161	
13	أرضي + 16 أدوار	22.8%	141158	30.6%	189336	28.9%	178360	56%	6058.0	617914	
14	أرضي + 17 أدوار	23.1%	149471	30.9%	200376	29.1%	188760	56%	5996.9	647667	
15	أرضي + 18 أدوار	23.3%	157784	31.2%	211416	29.4%	199160	55%	5942.3	677420	
16	أرضي + 19 أدوار	23.5%	166097	31.5%	222456	29.6%	209560	55%	5893.1	707173	
17	أرضي + 20 أدوار	23.7%	174410	31.7%	233496	29.8%	219960	54%	5848.6	736926	

شكل (٥-٣٩)
كمية الكهرباء الناتجة من
وضعين النموذج التطبيقي
(٣) لكل وحدة سكنية
بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء
المصدر: الباحث



جدول رقم (٥-١٧) كمية الكهرباء الناتجة من وضعين النموذج التطبيقي (٣)

الكهرباء الناتجة		المحور		المكان
من محور شرق غرب	من محور شمال جنوب	شرق غرب	شمال جنوب	
●	109060	●	√	السطح
109060	●	√	●	
●	41402	●	√	الواجهة الجنوبية
67156	●	√	●	
●	56856	●	√	الواجهة الغربية
35052	●	√	●	
●	53560	●	√	الواجهة الشرقية
33020	●	√	●	
244288	260878	إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة		
—	6.8%	النسبة المئوية للزيادة		
8143	8696	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة		

وتم تصميم النموذج التطبيقي رقم (٤) وهو النموذج السكني لعمارة سكنية كائنة بشارع السودان بالمهندسين، المكونة من ٦ طوابق وأرضي، ويضم كل طابق ٨ وحدات سكنية، وتتراوح مساحة الوحدات السكنية ١٧٠ م^٢ بالأدوار المتكررة، وتضم الوحدة ٣ غرف نوم، ومنطقة معيشة، وعدد ٣ حمام ومطبخ، كما يتضح بالشكل (٥-٤٠).

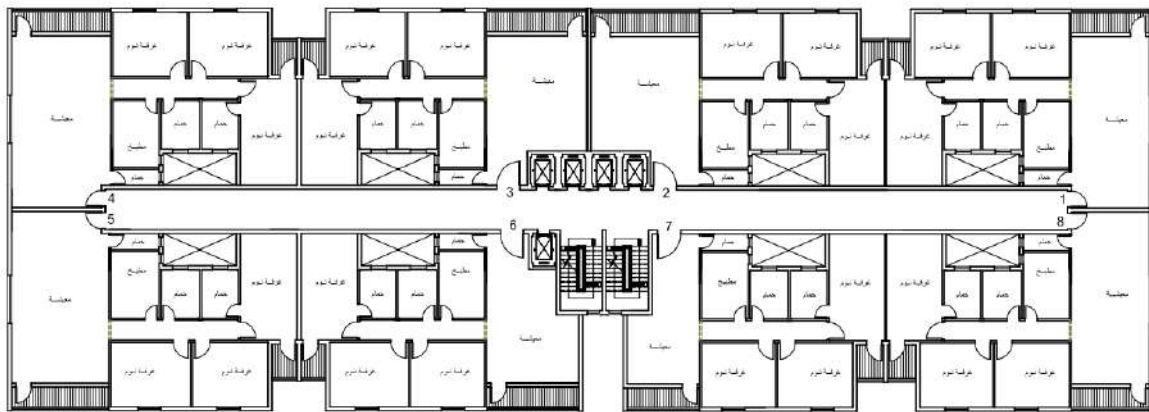
وتم تركيب ألواح النظام على النموذج التطبيقي رقم (٤) كالآتي:-

(١) تصميم الوحدات السكنية لتصبح مساحتها ١٧٠ م^٢ في الأدوار المتكررة، وذلك بسبب دواعي مقارنتها بالنماذج السابقة من إنتاج الكهرباء للألواح المستخدمة.

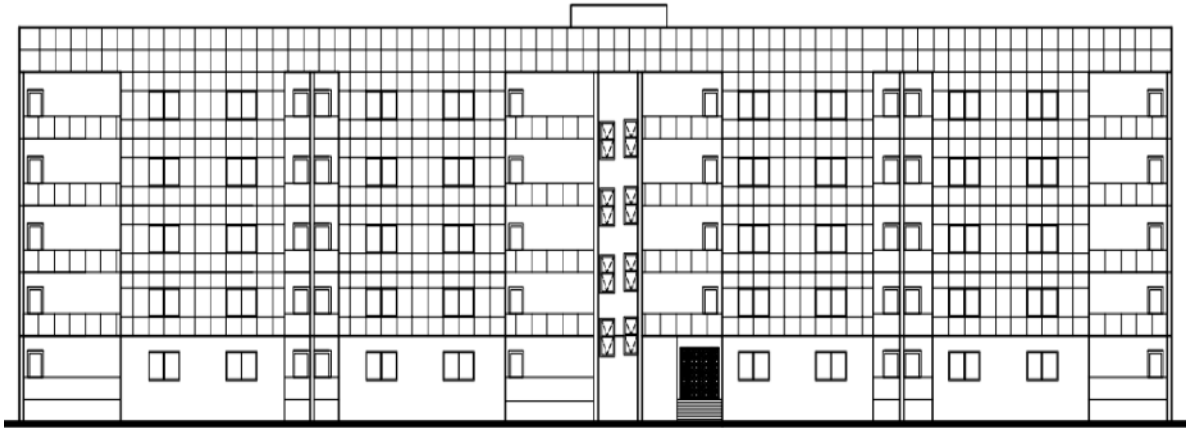
- ٢) عمل ارتفاع دروة السطح من ١ إلى ٢م، وذلك بسبب تثبيت نظام BAPV على السطح، ووضع الألواح بشكل مائل بزاوية ٣٠ ° ناحية الجنوب، وتبلغ أبعاد اللوح المقترح (٩٩٢×١٦٤٠) مم، بقدرة ٢٥٠ وات، وكفاءة ١٦٪.
- ٣) تثبيت ألواح BIPV على الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية، كما هو موضح بالشكل (٥-٤١)، وتبلغ أبعاد الألواح المقترحة (١٠٠٠×١٣٠٠) مم عند منسوب الفتحات، و(١٠٠٠×١٧٠٠) مم بين منسوب عتب الفتحات وجلسة الشباك للأدوار المتكررة و(٨٠٠×١٠٠٠) مم أسفل جلسة الشباك للدور الأول، و(١٠٠٠×١٠٠٠) لأرتفاع الدروة وما بين الفتحات للأدوار المتكررة.
- ٤) تصميم أبعاد فتحات النوافذ لتصبح (٣×١،٣م) لغرف النوم، و(٣×٤م) للشرفات، ودرابزين الشرفات بارتفاع ١م لسهولة وضع ألواح BIPV عليه، لكي تتناسب مع الموديول المقترح للألواح.
- ٥) عدم تثبيت ألواح BIPV في الواجهة الشمالية، وذلك بسبب ضعف إنتاجها كما سبق ذكره.
- ٦) عدم تثبيت ألواح BIPV في الدور الأرضي، حتى لا يكون عرضه للتلف أو الكسر من قبل المشاة.
- وبتطبيق المعايير السابق ذكرها على النموذج التطبيقي (٤)، يتضح من خلال الأشكال من (٥-٤٢) إلى (٥-٤٦) والجداول أرقام من (٥-١٨) إلى (٥-٢٠) أن الكهرباء الناتجة عن النموذج في حالة محوره شرق غرب تبلغ ٣١٦٩٩٢ ك.و.س/سنة، كما تبلغ نصيب الوحدة السكنية ٨٧٧٥,٣ ك.و.س/سنة، أما في حالة جعل محوره شمال جنوب بدلاً من شرق غرب تبلغ ٣٥١٠١٢ ك.و.س/سنة، وتبلغ نصيب الوحدة السكنية ٧٩٢٤,٨ ك.و.س/سنة، أي بنسبة زيادة ١٠,٨٪.



أ- زيارة مبنى عمارة
المهندسين بشارع السودان
المصدر:
تصوير الباحث
في ١٦-١١-٢٠٢٣



ب- المسقط الأفقي للنموذج التطبيقي (٤) ٨ وحدات في الدور بعد التعديل
شكل (٥-٤٠) صور ورسومات عمارة المهندسين ٨ وحدات في الدور



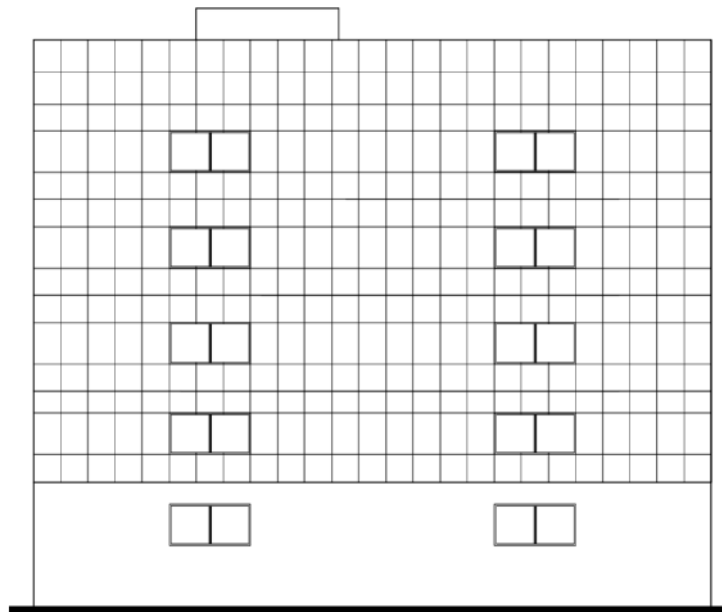
أ- الواجهة الجنوبية بعد تثبيت ألواح الطاقة الكهروضوئية بنظام BIPV

ب- الواجهة الشرقية بعد تثبيت ألواح الطاقة الكهروضوئية بنظام BIPV

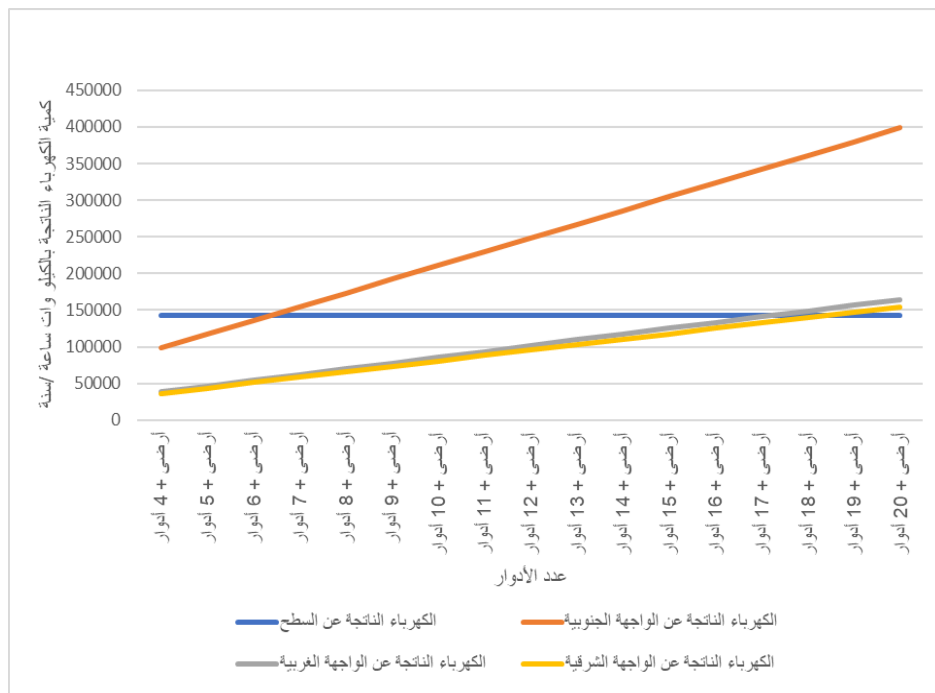
شكل (٥-٤١)

النموذج التطبيقي رقم (٤) ٨ وحدات في الدور

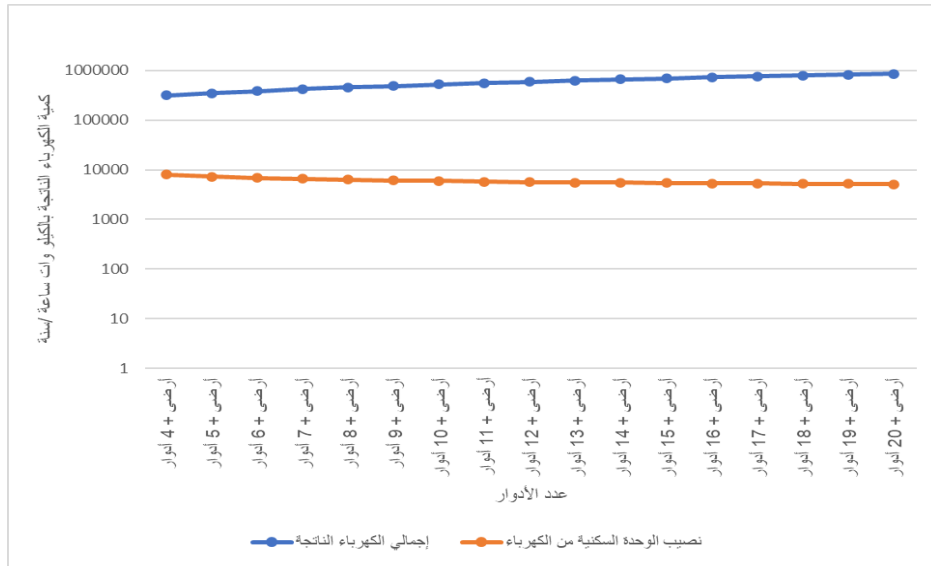
المصدر: الباحث



شكل (٥-٤٢)
كمية الكهرباء المتصلة
النتيجة من النموذج
التطبيقي رقم (٤) محور
شرق غرب
المصدر: الباحث



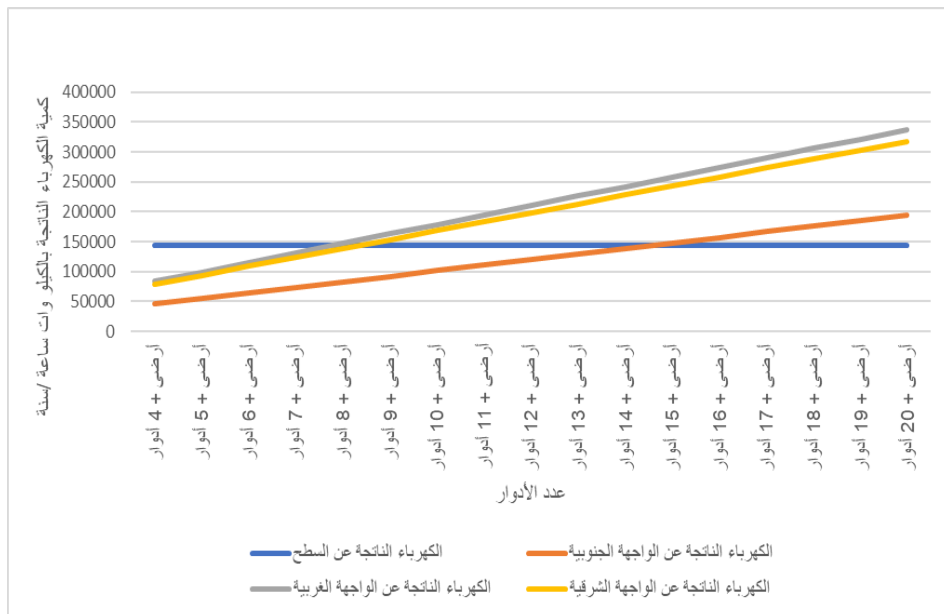
شكل (٥-٤٣)
كمية الكهرباء الناتجة من
النموذج التطبيقي رقم (٤)
لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى
إجمالي الكهرباء للنموذج
محور شرق غرب
المصدر: الباحث

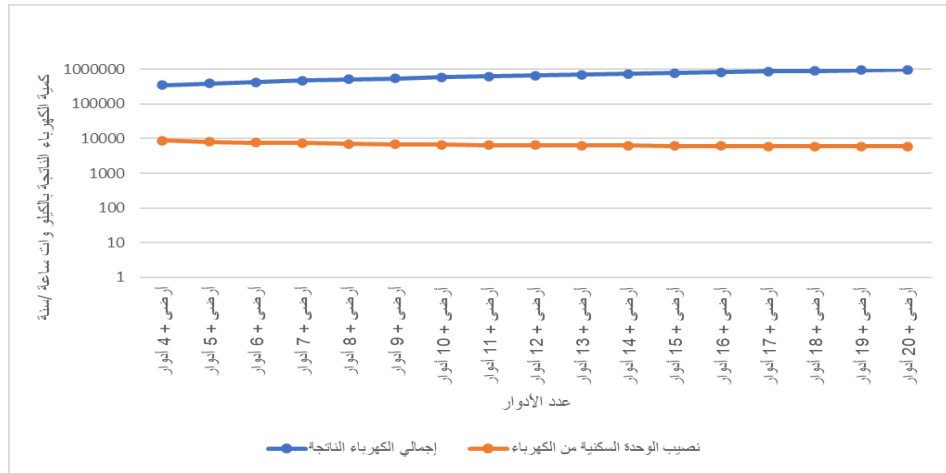


جدول رقم (٥-١٨) كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي رقم (٤) حتى ٢٠ دور محور شرق غرب

م	عدد الأدوار لاارتفاع الدور ٣م	السطح		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة	النسبة المئوية لإجمالي استهلاك الوحدة من الكهرباء
		الكهرباء الناتجة لإجمالي الكهرباء	النسبة المئوية	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء			
1	أرضي + 4 أدوار	143500	45.3%	98452	31.1%	38640	12.2%	36400	11.5%	316992	7924.8	73%
2	أرضي + 5 أدوار	143500	40.9%	117197	33.4%	46506	13.2%	43810	12.5%	351013	7312.8	68%
3	أرضي + 6 أدوار	143500	37.3%	135942	35.3%	54372	14.1%	51220	13.3%	385034	6875.6	64%
4	أرضي + 7 أدوار	143500	34.2%	154687	36.9%	62238	14.9%	58630	14.0%	419055	6547.7	61%
5	أرضي + 8 أدوار	143500	31.7%	173432	38.3%	70104	15.5%	66040	14.6%	453076	6292.7	58%
6	أرضي + 9 أدوار	143500	29.5%	192177	39.5%	77970	16.0%	73450	15.1%	487097	6088.7	56%
7	أرضي + 10 أدوار	143500	27.5%	210922	40.5%	85836	16.5%	80860	15.5%	521118	5921.8	55%
8	أرضي + 11 أدوار	143500	25.8%	229667	41.4%	93702	16.9%	88270	15.9%	555139	5782.7	54%
9	أرضي + 12 أدوار	143500	24.4%	248412	42.2%	101568	17.2%	95680	16.2%	589160	5665.0	52%
10	أرضي + 13 أدوار	143500	23.0%	267157	42.9%	109434	17.6%	103090	16.5%	623181	5564.1	52%
11	أرضي + 14 أدوار	143500	21.8%	285902	43.5%	117300	17.8%	110500	16.8%	657202	5476.7	51%
12	أرضي + 15 أدوار	143500	20.8%	304647	44.1%	125166	18.1%	117910	17.1%	691223	5400.2	50%
13	أرضي + 16 أدوار	143500	19.8%	323392	44.6%	133032	18.3%	125320	17.3%	725244	5332.7	49%
14	أرضي + 17 أدوار	143500	18.9%	342137	45.1%	140898	18.6%	132730	17.5%	759265	5272.7	49%
15	أرضي + 18 أدوار	143500	18.1%	360882	45.5%	148764	18.8%	140140	17.7%	793286	5219.0	48%
16	أرضي + 19 أدوار	143500	17.3%	379627	45.9%	156630	18.9%	147550	17.8%	827307	5170.7	48%
17	أرضي + 20 أدوار	143500	16.7%	398372	46.3%	164496	19.1%	154960	18.0%	861328	5127.0	47%

شكل (٥-٤٤)
كمية الكهرباء التفصيلية
الناتجة من النموذج
التطبيقي رقم (٤) محور
شمال جنوب
المصدر: الباحث





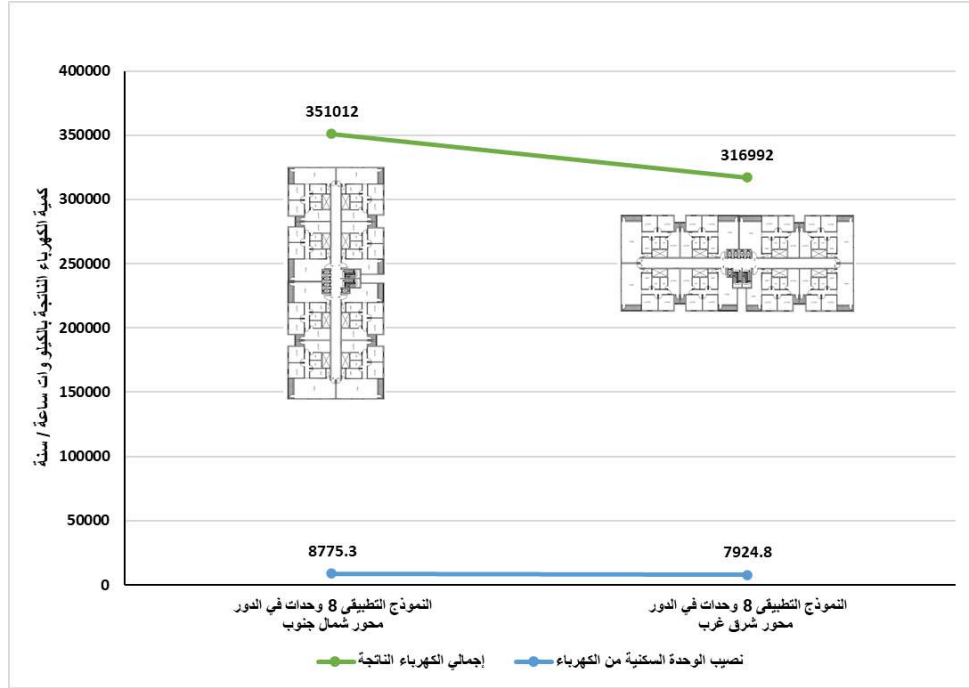
شكل (٥-٤٥)
كمية الكهرباء الناتجة من
النموذج التطبيقي رقم (٤)
لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى
إجمالي الكهرباء للنموذج
محور شمال جنوب
المصدر: الباحث

جدول رقم (٥-١٩) كمية الكهرباء الناتجة التفصيلية من النموذج التطبيقي رقم (٤) حتى ٢٠ دور محور شمال جنوب

م	عدد الأدوار لارتفاع الدور 3م	السطح		الواجهة الجنوبية		الواجهة الغربية		الواجهة الشرقية		إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة	نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة	النسبة المئوية لإجمالي استهلاك الوحدة من الكهرباء
		النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء	الكهرباء الناتجة			
1	أرضي + 4 أدوار	40.9%	143500	13.0%	45640	23.7%	83352	22.4%	78520	351012	8775.3	81%
2	أرضي + 5 أدوار	36.7%	143500	14.0%	54931	25.4%	99222	23.9%	93470	391123	8148.4	75%
3	أرضي + 6 أدوار	33.3%	143500	14.9%	64222	26.7%	115092	25.1%	108420	431234	7700.6	71%
4	أرضي + 7 أدوار	30.4%	143500	15.6%	73513	27.8%	130962	26.2%	123370	471345	7364.8	68%
5	أرضي + 8 أدوار	28.1%	143500	16.2%	82804	28.7%	146832	27.0%	138320	511456	7103.6	66%
6	أرضي + 9 أدوار	26.0%	143500	16.7%	92095	29.5%	162702	27.8%	153270	551567	6894.6	64%
7	أرضي + 10 أدوار	24.3%	143500	17.1%	101386	30.2%	178572	28.4%	168220	591678	6723.6	62%
8	أرضي + 11 أدوار	22.7%	143500	17.5%	110677	30.8%	194442	29.0%	183170	631789	6581.1	61%
9	أرضي + 12 أدوار	21.4%	143500	17.9%	119968	31.3%	210312	29.5%	198120	671900	6460.6	60%
10	أرضي + 13 أدوار	20.2%	143500	18.2%	129259	31.8%	226182	29.9%	213070	712011	6357.2	59%
11	أرضي + 14 أدوار	19.1%	143500	18.4%	138550	32.2%	242052	30.3%	228020	752122	6267.7	58%
12	أرضي + 15 أدوار	18.1%	143500	18.7%	147841	32.6%	257922	30.7%	242970	792233	6189.3	57%
13	أرضي + 16 أدوار	17.2%	143500	18.9%	157132	32.9%	273792	31.0%	257920	832344	6120.2	57%
14	أرضي + 17 أدوار	16.4%	143500	19.1%	166423	33.2%	289662	31.3%	272870	872455	6058.7	56%
15	أرضي + 18 أدوار	15.7%	143500	19.3%	175714	33.5%	305532	31.5%	287820	912566	6003.7	56%
16	أرضي + 19 أدوار	15.1%	143500	19.4%	185005	33.7%	321402	31.8%	302770	952677	5954.2	55%
17	أرضي + 20 أدوار	14.5%	143500	19.6%	194296	34.0%	337272	32.0%	317720	992788	5909.5	55%

جدول رقم (٥-٢٠) كمية الكهرباء الناتجة من وضعين النموذج التطبيقي (٤)

المكان	المحور		الكهرباء الناتجة	
	شمال جنوب	شرق غرب	من محور شمال جنوب	من محور شرق غرب
السطح	✓	●	143500	●
	●	✓	●	143500
الواجهة الجنوبية	✓	●	45640	●
	●	✓	●	98452
الواجهة الغربية	✓	●	83352	●
	●	✓	●	38640
الواجهة الشرقية	✓	●	78520	●
	●	✓	●	36400
إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة		316992		351012
النسبة المئوية للزيادة		—		10.7%
نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء ك.و.س/سنة		7924.8		8775.3



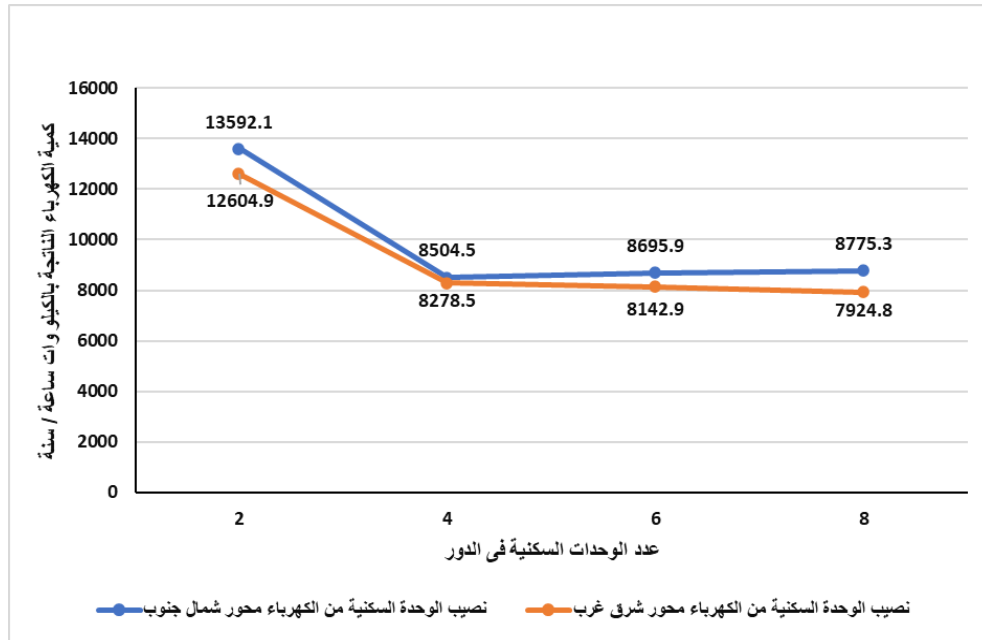
شكل (٥-٦) كمية الكهرباء الناتجة من وضعين النموذج التطبيقي (٤) لكل وحدة سكنية بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء المصدر: الباحث

ويتضح من خلال الشكلين (٥-٧) و(٥-٨) أن العلاقة عكسية بين عدد الوحدات في الدور ونصيب الوحدة السكنية من الكهرباء، حيث كلما تقل عدد الوحدات في الدور يزداد نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء، والعكس صحيح، ويتضح هذا خاصة على محور شرق غرب، أما في محور شمال جنوب فتكون العلاقة عكسية بين عدد الوحدات في الدور ونصيب الوحدة السكنية من الكهرباء عند ٢ وحدة في الدور وحتى ٤ وحدات في الدور، أما عند ٤ وحدات في الدور وأكثر نلاحظ زيادة نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء مع زيادة عدد الوحدات في الدور وتصبح العلاقة طردية بشكل بسيط، وهذا بسبب زيادة مسطح الواجهات وخاصة في محور شمال جنوب المثبت عليها ألواح BIPV، وهذا يتضح من خلال الشكل (٥-٩) أنه تزداد إجمالي كمية الكهرباء الناتجة عن محور شمال جنوب عن محور شرق غرب كلما زادت عدد الوحدات في الدور، وذلك بسبب زيادة مسطح الواجهات المثبت عليها النظام.

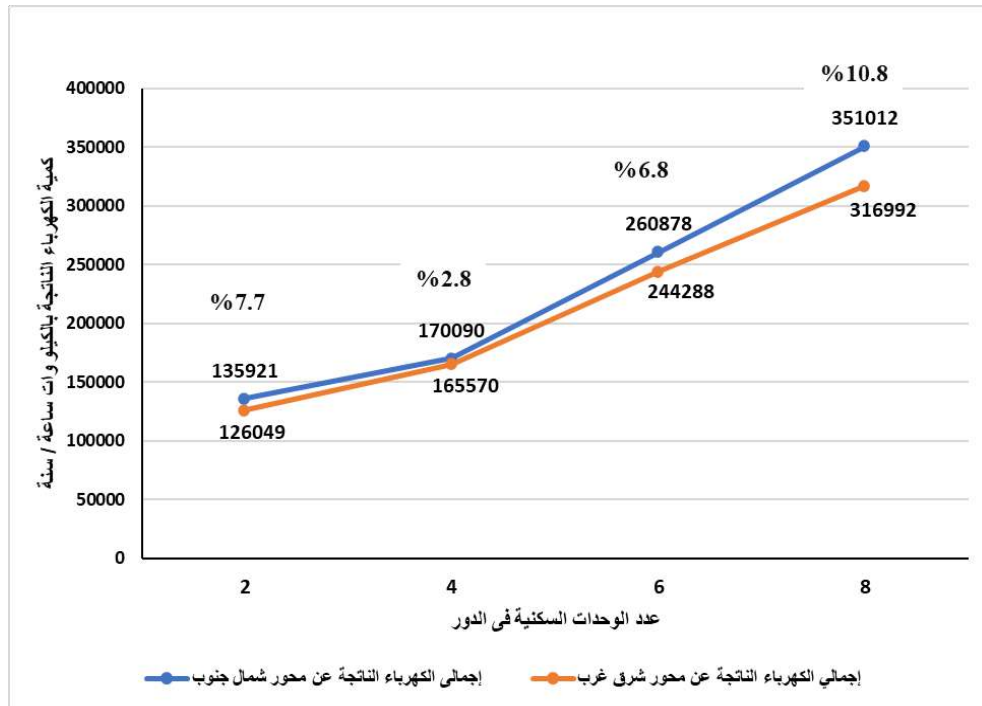


شكل (٥-٧) نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء لجميع النماذج المصدر: الباحث

شكل (٤٨-٥) نصيب الوحدة السكنية من الكهرباء لعدد الوحدات في الدور المصدر: الباحث



شكل (٤٩-٥) إجمالي الكهرباء الناتجة لعدد الوحدات في الدور لكل محور المصدر: الباحث

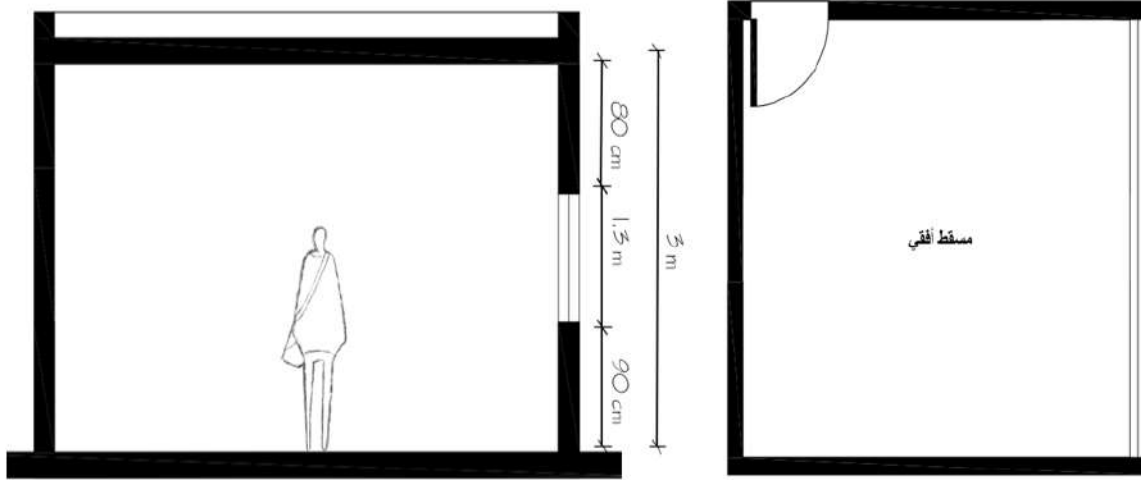


٣-٥ نسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة

ويتمثل المحدد التصميمي الثاني في معرفة نسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة المثالية، وتحدد اشتراطات البناء الصادرة في قانون البناء الموحد رقم ١١٩ لسنة ٢٠٠٨ نسبة الفتحات الدنيا للمساحات المختلفة^(١)، وفي حالة تعدد الفتحات يصبح الحد الأدنى لمساحة الفتحة الواحدة لا تقل عن ٠,٥ م^٢ لغرف السكن و ٠,٢٥ م^٢ للمرافق (المطابخ والحمامات)، وتعتمد الدراسة على معرفة أقصى نسبة لمسطح الفتحات لمسطح الواجهة المثالية لمعرفة كمية الكهرباء المنتجة من ذلك. وتم دراسة محدد نسبة مسطح الفتحات من خلال إجراء محاكاة على مستوى نموذج أولى، حيث يتضح أن ارتفاع جلسة الشباك تبلغ ٩٠سم وعتب الشباك يبلغ ٢,٢م، مما يعني أن ارتفاع الشباك من جلسته إلى

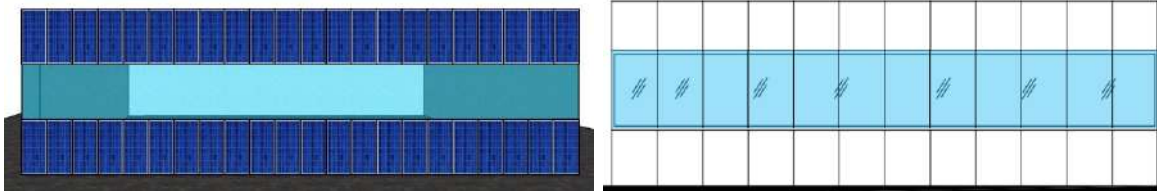
(١) - قانون البناء الموحد رقم ١١٩ لسنة ٢٠٠٨، ص ١٤١، مرجع سبق ذكره.

العتب ٣م، ومن العتب حتى بلاطة خرسانة أرضية السطح ٨٠سم وبذلك نصل إلى ارتفاع الدور ٣م، مما ينتج عنه إذا تم عمل نافذة بمسطح الدور بأكمله مما يتضح من الشكلين (٥٠-٥) و(٥١-٥).



ب- قطاع لتوضيح أقصى مسطح للفتحة

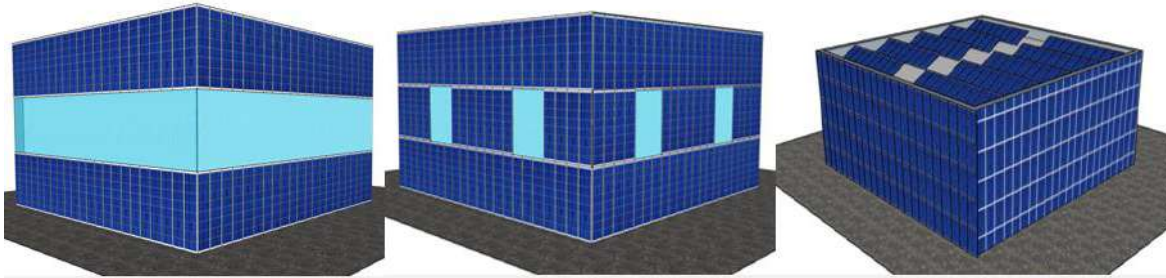
أ- مسقط أفقي لتوضيح أقصى نسبة فتحات للفرغ السكني



ج- واجهة لتوضيح أقصى مسطح للفتحة بالنسبة إلى مسطح الواجهة

شكل (٥٠-٥) الرسومات المعمارية لفرغ سكني لتوضيح أقصى مسطح لفتحة الشباك

المصدر: الباحث



ج- نموذج بأقصى نسبة فتحات ٤٣,٣%

ب- نموذج بنسبة فتحات ٢١,٧%

أ- نموذج بدون فتحات

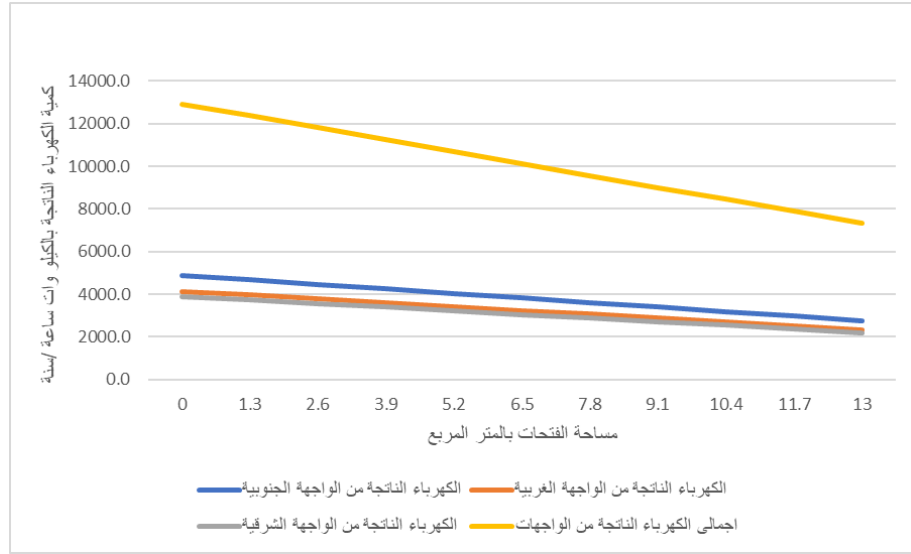
شكل (٥١-٥) نماذج مختلفة من مسطح فتحات النوافذ لنموذج المحاكاة

المصدر: الباحث

ويتضح من الشكل (٥٢-٥) وجدول رقم (٢١-٥) أن العلاقة بين نسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة يرتبط ارتباط عكسي بإنتاج الكهرباء بمعنى إنه كلما زاد مسطح الفتحات قلت الكهرباء الناتجة من النظام، ومن خلال الشكل السابق يتضح أن أقصى نسبة لمساحة مسطح الواجهات للنموذج الأولى لارتفاع الدور ٣م تبلغ ٤٣٪، مما يعني انخفاض إنتاج الكهرباء لتصبح بنسبة ٥٧٪ من إجمالي الكهرباء المنتجة من مبنى بدون فتحات، أما إذا كان ارتفاع الدور ٤م تبلغ أقصى نسبة لمساحة مسطح الواجهات للنموذج الأولى ٣٢,٥٪، مما يعني انخفاض إنتاج الكهرباء لتصبح بنسبة ٦٨٪، كما يتضح في الشكل (٥٣-٥) والجدول رقم (٢٢-٥)، وفي هذا الإطار ينصح بمحاولة تقليل مسطح الفتحات قدر الإمكان في الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية وترك الحرية للمعماري في الواجهة الشمالية نحو اختيار مسطح

الفتحات الملائم للتصميم، ومن الممكن أن يوجد مسطحات فتحات كبيرة للواجهة بكامل المسطح ولكن هذا ما نراه في الفيئات والقصور وهي خارج مجال الدراسة.

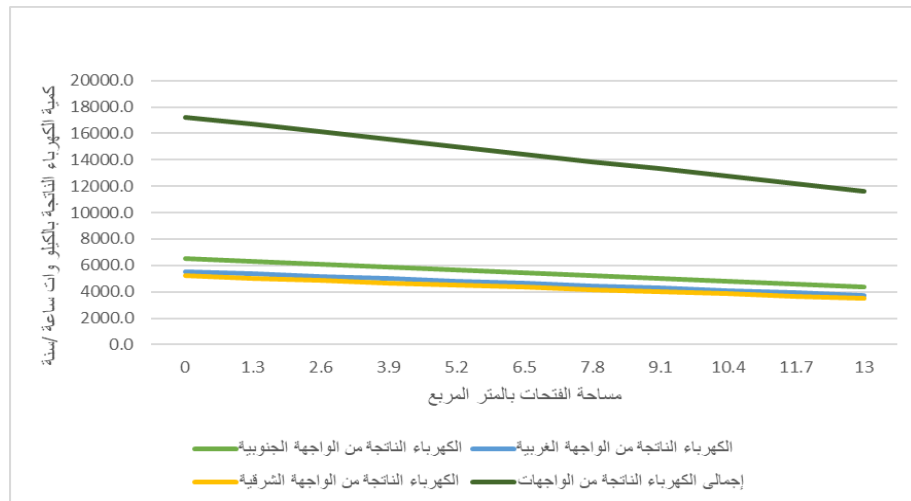
شكل (٥-٥٢)
كمية الكهرباء الناتجة
بالنسبة إلى مسطح مساحة
الفتحات من النموذج
الأولى لارتفاع الدور ٣م
المصدر: الباحث



جدول رقم (٥-٢١) نسبة مسطح الفتحات لإنتاج الكهرباء من النموذج الأولي لارتفاع الدور ٣م

نسبة مسطح الفتحات لإنتاج الكهرباء للنموذج الأولي بارتفاع الدور ٣م								
نسبة الكهرباء لأى من الواجهات	الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة				نسبة مسطح الفتحات لاجمالي الواجهة	مساحة مسطح الواجهة بدون الفتحات (2م)	مساحة الفتحات (2م)	م
	الاجمالي	الواجهة الشرقية	الواجهة الغربية	الواجهة الجنوبية				
100%	12930.0	3900.0	4140.0	4890.0	0.0%	30	0	1
96%	12369.7	3731.0	3960.6	4678.1	4.3%	28.7	1.3	2
91%	11809.4	3562.0	3781.2	4466.2	8.7%	27.4	2.6	3
87%	11249.1	3393.0	3601.8	4254.3	13.0%	26.1	3.9	4
83%	10688.8	3224.0	3422.4	4042.4	17.3%	24.8	5.2	5
78%	10128.5	3055.0	3243.0	3830.5	21.7%	23.5	6.5	6
74%	9568.2	2886.0	3063.6	3618.6	26.0%	22.2	7.8	7
70%	9007.9	2717.0	2884.2	3406.7	30.3%	20.9	9.1	8
65%	8447.6	2548.0	2704.8	3194.8	34.7%	19.6	10.4	9
61%	7887.3	2379.0	2525.4	2982.9	39.0%	18.3	11.7	10
57%	7327.0	2210.0	2346.0	2771.0	43.3%	17	13	11

شكل (٥-٥٣)
كمية الكهرباء الناتجة
بالنسبة إلى مسطح مساحة
الفتحات من النموذج الأولي
لارتفاع الدور ٤م
المصدر: الباحث



جدول رقم (٥-٢٢) نسبة مسطح الفتحات لإنتاج الكهرباء من النموذج الأولي لارتفاع الدور ٤م

نسبة مسطح الفتحات لإنتاج الكهرباء للنموذج الأولي لارتفاع الدور 4م								
م	مساحة الفتحات (2م)	مساحة مسطح الواجهة بدون الفتحات (2م)	نسبة مسطح الفتحات لاجمالي الواجهة	الكهرباء الناتجة ك.و.ب/سنة			نسبة الكهرباء لأى من الواجهات	
				الاجمالي	الواجهة الشرقية	الواجهة الغربية		
1	0	40	0.0%	17240.0	5200.0	5520.0	6520.0	100%
2	1.3	38.7	3.3%	16679.7	5031.0	5340.6	6308.1	97%
3	2.6	37.4	6.5%	16119.4	4862.0	5161.2	6096.2	94%
4	3.9	36.1	9.8%	15559.1	4693.0	4981.8	5884.3	90%
5	5.2	34.8	13.0%	14998.8	4524.0	4802.4	5672.4	87%
6	6.5	33.5	16.3%	14438.5	4355.0	4623.0	5460.5	84%
7	7.8	32.2	19.5%	13878.2	4186.0	4443.6	5248.6	81%
8	9.1	30.9	22.8%	13317.9	4017.0	4264.2	5036.7	77%
9	10.4	29.6	26.0%	12757.6	3848.0	4084.8	4824.8	74%
10	11.7	28.3	29.3%	12197.3	3679.0	3905.4	4612.9	71%
11	13	27	32.5%	11637.0	3510.0	3726.0	4401.0	68%

ومن خلال ما سبق تتضح النتائج التالية:-

- أ. أن أفضل ارتفاع لدروة السطح تكون ٢م وذلك لتجنب ظهور الألواح في الواجهات، ولسهولة إجراء أعمال الصيانة والنظافة الدورية، فضلاً عن تجنب سقوط الظلال على الألواح فتقلل من كفاءتها.
- ب. أن أنسب ارتفاع للدور يتراوح من ٣ إلى ٤م، حيث كلما زاد ارتفاع الدور زادت كمية الكهرباء المنتجة للنظام، حيث في حالة الاكتفاء بارتفاع ٣م للدور، فذلك قد يكون حل موفق من الناحية الاقتصادية، وإن كان زيادة ارتفاع الدور إلى ٤م قد تكون حل أكثر توفيقاً بسبب زيادة كمية الكهرباء الناتجة، فضلاً عما تضيفه من راحة حرارية للفراغ الداخلي.
- ج. لا تقل عدد الأدوار للمبنى المستخدم النظام عن ٣ أدوار أو أكثر، ويفضل استخدام النظام مع الأبراج السكنية المرتفعة ذات الطوابق التي تصل إلى ٢٠ دور أو أكثر.
- د. ينصح بمحاولة تقلييل مسطح الفتحات قدر الإمكان في الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية وترك الحرية للمعماري في الواجهة الشمالية نحو اختيار مسطح الفتحات الملائم للتصميم، حيث أن العلاقة بين نسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة يرتبط ارتباط عكسي بإنتاج الكهرباء بمعنى إنه كلما زاد مسطح الفتحات قلت الكهرباء الناتجة من النظام.
- هـ. يفضل أن يكون المسقط الأفقى للعمارة السكنية على شكل مستطيل محوره شمال جنوب أي أن الضلعين الكبيرين يكونا في اتجاه الشرق والغرب حيث ينتج كهرباء أكثر عما يكون محوره شرق غرب.

الفصل السادس

المحددات التعبيرية

يتمثل الجزء الثالث من الدراسة التطبيقية في دراسة المحددات التعبيرية لغلّاف المبنى عند استخدام نظام BIPV، حيث تمثل الواجهة جزء أساسي من غلّاف المبنى، حيث إنها لها قيمة معمارية عالية، وتستخدم بشكل فعال لأغراض الاتصال، وإعطاء المبنى مظهرًا مميزًا، ومع استخدام نظام BIPV في تغطية الواجهات، تتضح مجموعة من المحددات تتحكم في التعبير المعماري للواجهة، لأن تشكيل كتلة الواجهة سوف يؤدي لإلقاء الظلال على الواجهة، مما يستتبعه ضعف توليد الكهرباء، وقلة كفاءة النظام، وتتمثل أهم تلك المحددات فيما يلي :-

(١) ألوان الألواح.

(٢) ظل المبنى.

١-٦ ألوان الألواح

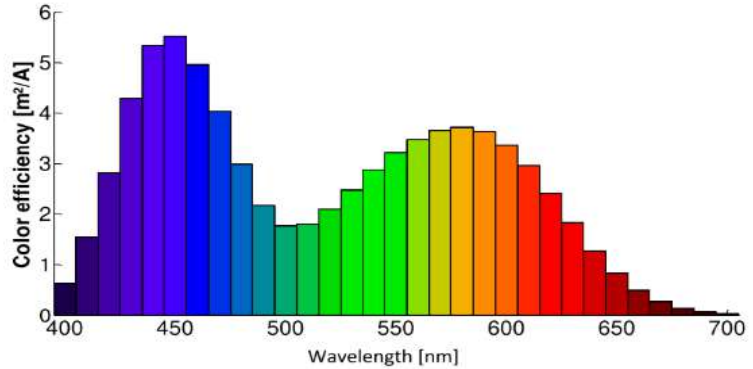
يتمثل المحدد الأول في لون الألواح حيث يعتبر لغة تعبير جديدة عند التعامل مع نظام BIPV، بالرغم من أن اللون يعد وسيلة ضعيفة نسبياً للتعبير المعماري. وتعد مسألة تحديد درجات الألوان أمرًا مثيرًا للاهتمام عند استخدام نظام BIPV، وحتى عام ٢٠٢٠ كانت تعتبر الألوان الأسود والرمادي ودرجات اللون الأزرق أفضل الألوان المستخدمة لإنتاج الكهرباء من الألواح الشمسية، حيث أن قدرة توليد الكهرباء تختلف باختلاف الطول الموجي للألوان^(١)، فاللون ذو الطول الموجي المرتفع يفقد طاقة أعلى من اللون ذي الطول الموجي المنخفض، كما يتضح بالشكل (١-٦)، الذي يوضح أن الألوان الأفضل كفاءة في توليد الطاقة هي درجات الأزرق ذات الطول الموجي ٤٥٠ نانومتر، وعلى العكس كانت درجات اللون الأحمر ذات الطول الموجي ٧٠٠ نانومتر ذات كفاءة منخفضة في توليد الطاقة الكهربائية^(٢)، وتتدرج كفاءة ألوان الألواح في توليد الطاقة حتى عام ٢٠١٩ كما يتضح بالجدول (١-٦)، وبعد ذلك حدث تطور في صناعة الألواح الكهروضوئية الملونة منذ عام ٢٠٢٠ وحتى الآن، وذلك من خلال زيادة كفاءة الألواح الملونة من إنتاج الطاقة^(٣).

شكل (١-٦)

العلاقة بين كفاءة اللون والطول الموجي،
ونلاحظ بان اللون الأزرق لديه أعلى كفاءة

المصدر:

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

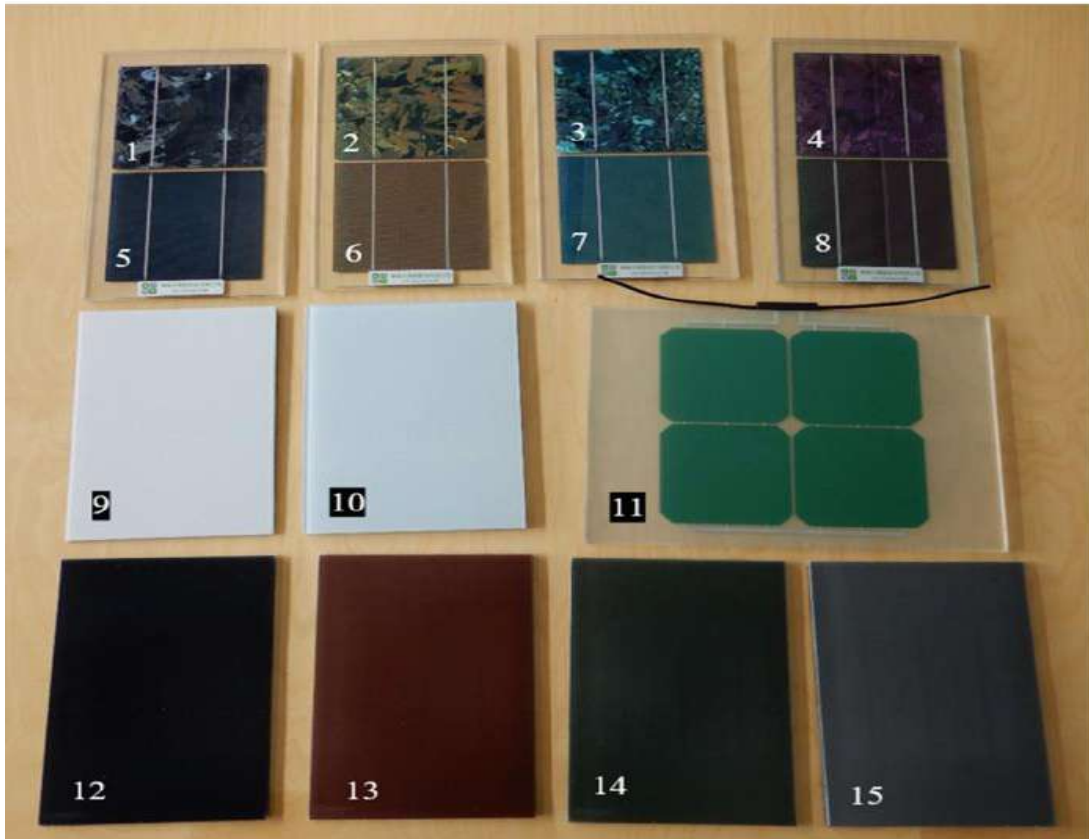


- (1) - Erika Saretta, Pierluigi Bonomo, Francesco Frontini, "Active BIPV Glass Facades: Current Trends of Innovation"; GPD Glass Performance Days 2017 - Conference Proceedings, pp.2-7; <https://www.glassonweb.com/article/active-bipv-glass-facades-current-trends-innovation>.
- (2) - IEA PVPS Task 15 Subtask E. Report T15-07—Coloured BIPV Market, Research and Development; IEA: Paris, France, 2019.
- (3) - Royeset, A. Etal. Optical interference coatings for coloured building integrated photovoltaic modules: Predicting and optimising visual properties and efficiency. Energy and Building Journal, Published by Elsevier B.V, 4 September 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113517>.

جدول (١-٦) كفاءة ألوان الألواح في إنتاج الطاقة الكهربائية حتى عام ٢٠١٩

درجة الكفاءة	اللون
٥,٥	بنفسج
٥,٣	بنفسج
٥	بنفسج
٤,٥	بنفسج
٤	بنفسج
٣,٨	أصفر
٣,٦	أخضر فاتح
٣,٦	أخضر
٣,٤	أخضر
٣,٢	أخضر

بدراسة نوعيات الألواح المتواجدة في السوق المحلية، من خلال الاتصال بالعديد من الموردين، ووجد أن الألواح الملونة الموجودة حالياً في السوق المحلية يتراوح إنتاج الكهرباء بها من ٦٨ إلى ١٧٠ ك.و.س/سنة بكفاءة تتراوح من ٩ إلى ١٧,٨٪ كما يتضح من خلال الجدول رقم (٢-٦) والشكلين (٢-٦) و(٣-٦)، وقد تم استخدام اللوح رقم (٥) ودرجة لونه الأزرق الغامق (True Steel) في التجربة التطبيقية لهذه الدراسة، وتم التأكد من كفاءته وكمية الكهرباء الناتجة منه، حيث تتراوح كمية الكهرباء الناتجة من اللوح من ١٢٠ إلى ١٦٥ ك.و.س/سنة وكفاءته تتراوح من ١٦ إلى ١٧,٤٪، ويفضل عدم استخدام اللونين الأبيض والأخضر الفاتح، وذلك لضعف إنتاجيتهم من الكهرباء.



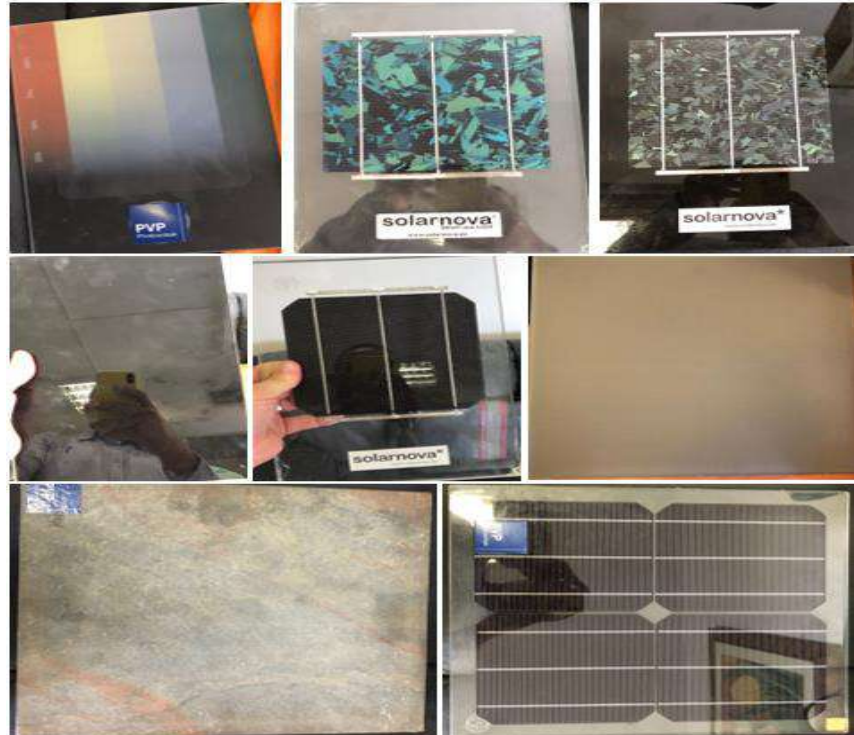
شكل (٢-٦) الألوان المختلفة للخلايا الكهروضوئية

المصدر : SUMMIT Solar Energy

[/https://summitegy.com](https://summitegy.com)

جدول (٦-٢) الكهرباء الناتجة من الألواح الملونة وكفاءتها لدى المورد المحلي في إنتاج الطاقة الكهربائية

م	اللون		مورد العينة	متوسط الكهرباء السنوية الناتجة ك.و.س / سنة	الكفاءة %
	عربي	انجليزي			
1	الحجري الغامق	Stone Elegance	SUMMIT Solar Energy	110 - 170	15% - 17.8%
2	الذهبي المعدني	Metallic Gold	SUMMIT Solar Energy	112 - 161	15.2% - 17%
3	الزمرد الأخضر	Emerald Green	SUMMIT Solar Energy	112 - 167	15.2% - 17.6%
4	الأرجواني	Disco Pink	SUMMIT Solar Energy	110 - 167	15% - 17.6%
5	الأزرق الغامق	True Steel	SUMMIT Solar Energy	120 - 165	16% - 17.4%
6	الكاكي	Tile Red	SUMMIT Solar Energy	123 - 163	16.4% - 17.2%
7	الأخضر المزرق	Forest Green	SUMMIT Solar Energy	123 - 165	16.4% - 17.4%
8	الأرجواني الغامق	Lavender	SUMMIT Solar Energy	123 - 163	16.4% - 17.2%
9	الأبيض الفاتح	Vivid White	SUMMIT Solar Energy	80	10.60%
10	الأبيض	White	SUMMIT Solar Energy	68	9%
11	الأخضر الفاتح	Kromatix Green	SUMMIT Solar Energy	70	9.20%
12	الأسود	Anthracite	SUMMIT Solar Energy	108 - 116	14.5% - 15.5%
13	الأحمر الغامق (الطوي)	Terracotta	SUMMIT Solar Energy	112 - 125	15.2% - 16.7%
14	الأخضر الغامق	Green Moss	SUMMIT Solar Energy	114 - 125	15.4% - 16.7%
15	رمادي فاتح	Light Grey	SUMMIT Solar Energy	118 - 125	15.7% - 16.7%



شكل (٦-٣)

العينات المختلفة للألوان الخلايا

الكهروضوئية

المصدر:

تصوير الباحث في

٢٠٢٢-٩-١٥

يقوم المصنعون ومنتجو النظام بتطوير وحدات خاصة من حيث المظهر لنظام BIPV، حيث يمكن تشكيل الألواح الكهروضوئية بأنماط ملونة ومزخرفة تخفي المادة الأصلية لبوريات الخلايا الكهروضوئية، مما يعطي مظهرًا وتصميمًا فريدًا⁽¹⁾، ولذلك أصبحت الألواح الكهروضوئية الملونة تستخدم على إنها تكميات للواجهات كما يتضح في الشكل (٦-٤) في مشروع مؤسسة مبنى "أبي بيبير" بباريس، وهو عبارة عن مبنى سكني، تم تصميمه من قبل المعماري "إيمانويل سعدي"، كما تم بناءه عام ٢٠١١، حيث تم استخدام الألواح الكهروضوئية الملونة ذات اللون الأخضر الزمردني (Emerald Green) كأنها تكميات لواجهة المبنى، لتغطي ٤٠٪ من الطاقة المستهلكة للمبنى.



شكل (٦-٤)

مشروع مؤسسة "أبي بيبير"

في باريس

المصدر:

<https://www.pss-archi.eu/immeubles/F/R-75056-9725.html>

- ومن خلال ما سبق تتضح مجموعة من المحددات التعبيرية الخاصة بألوان الألواح وهي كالآتي: -
- يمكن استخدام كل الألوان في ألواح BIPV في الواجهات ما عدا اللونين الأبيض والأخضر الفاتح وذلك لضعف إنتاجيتهم من الطاقة الكهربائية.
- يمكن استخدام الألواح الملونة كنظام لتكميات الواجهات بديل عن مواد التكميات التقليدية المعتادة مثل الرخام أو الجرانيت أو الحجر أو الكلاينج.
- يمكن استخدام الألواح الملونة بشكل يعطي ملمس خشن للواجهة مثل بعض الألواح بهيئة الرخام، كما يتضح في الشكل (٦-٣)، أو كما استخدم في مثال مدرسة كوبنهاجن الدولية.

٦-٢ ظل المبنى

يتمثل المحدد الثاني في ظل المبنى، حيث ينقسم هذا الظل إلى مكونين، المكون الأول ظل المبنى على نفسه، أو الظلال الذاتية للواجهة، والمكون الثاني ظل المبنى على الأرض، مما قد يؤدي إلى ضعف توليد الكهرباء، وانخفاض كفاءة النظام. وبدراسة المكون الأول نجد أن الظلال الذاتية تنتج من خلال البروزات أو التراسات الموجودة بالواجهة، ويعتمد ظل المبنى على نفسه على محددين فرعيين، المحدد الأول ظل بروزات الواجهة، المحدد الثاني ظل كتلة المبنى.

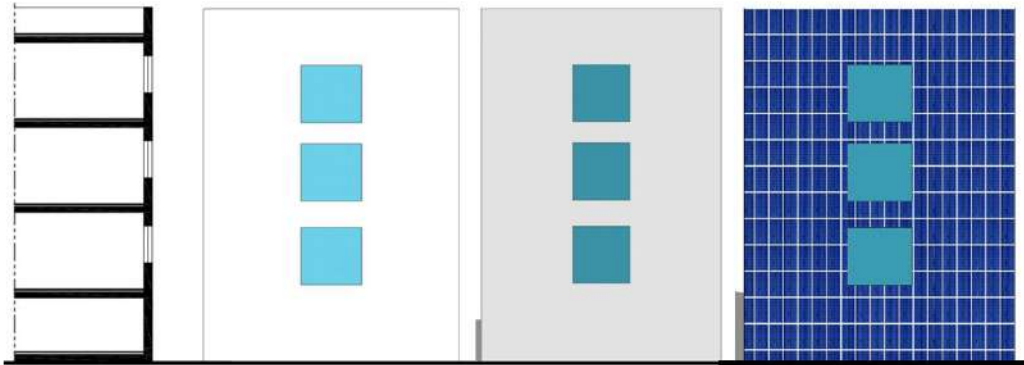
٦-٢-١ ظل بروزات الواجهة

يتمثل المحدد الفرعي الأول في ظل بروزات الواجهة، ولدراسة أثر هذه الظلال تم عمل محاكاة لثلاث واجهات مختلفة لنموذج افتراضي، ببروزات مختلفة لمعرفة أثر تأثير الظل على إنتاج الكهرباء، ويتكون النموذج الافتراضي من مبنى

(1) - Menno van den Donker, SEAC, 2018, private correspondence.

مكون من أرضى و ٣ طوابق، ودروة السطح بارتفاع ١م، ويبلغ ارتفاع الطابق ٣م، ويبلغ ارتفاع الواجهة ١٠م، وعرضها ١٣م، ويبلغ مسطح الواجهة ١٣٠م^٢، وتبلغ أبعاد الألواح المثبتة على جدار الواجهة (١٠٠٠×٥٠٠ مم)، وتم دراسة الواجهة الجنوبية ببدائل افتراضية لدراسة أثر الظلال الذاتية.

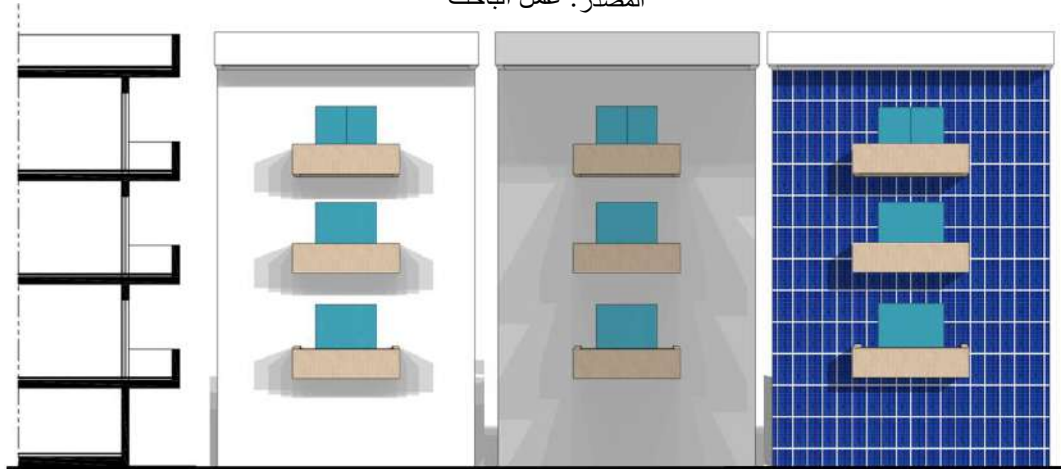
- البديل الأول للواجهة يتكون من ٣ فتحات عبارة عن نوافذ بنفس مستوى جدار الواجهة إجمالي مسطحهم ٨م^٢، وتم تثبيت ألواح على جدار الواجهة بمسطح ١٢٢م^٢، كما يتضح بالشكل (٦-٥).
 - البديل الافتراضي الثاني للواجهة يتكون من بروز للدروة عرضه ٢م، وعدد ٣ تراسات بارزة، ويبلغ بروز التراس الواحد ٢م، وقد تم تثبيت ألواح كهروضوئية على جدار الواجهة والدروة ودرابزين التراسات بمسطح ١٣٠م^٢، كما يتضح بالشكل (٦-٦).
 - البديل الافتراضي الثالث للواجهة فيوجد به بروز للدروة عرضه ٠,٥م، وعدد ٣ تراسات جزء منها بارز بعرض ٠,٥م، وجزء منها غاطس بعمق ١,٥م، وقد تم تثبيت ألواح كهروضوئية على جدار الواجهة والدروة ودرابزين التراسات بمسطح ١٤م^٢، وعدم تثبيت ألواح على الجزء الغاطس من التراس، كما يتضح بالشكل (٦-٧).
- ومن خلال المحاكاة تبين أن كمية الكهرباء الناتجة من البديل الأول بلغت ١٧٨٩١ ك.و.س/سنة، وبلغت كمية الكهرباء الناتجة من البديل الثاني ١٢٢٨٠ ك.و.س/سنة، أي انخفضت كمية الكهرباء بنسبة ٣١,٤٪، وبلغت كمية الكهرباء الناتجة من البديل الثالث ١٣٢٤٠ ك.و.س/سنة، أي انخفضت كمية الكهرباء بنسبة ٢٦٪، كما يتضح بالجدول (٦-٣) والشكلين (٦-٨) و(٦-٩).



شكل (٥-٦) أثر الظلال على الألواح طوال اليوم في فصلي الصيف والشتاء من الساعة

٩ صباحاً حتى الساعة ٣ عصراً للبديل الافتراضي الأول

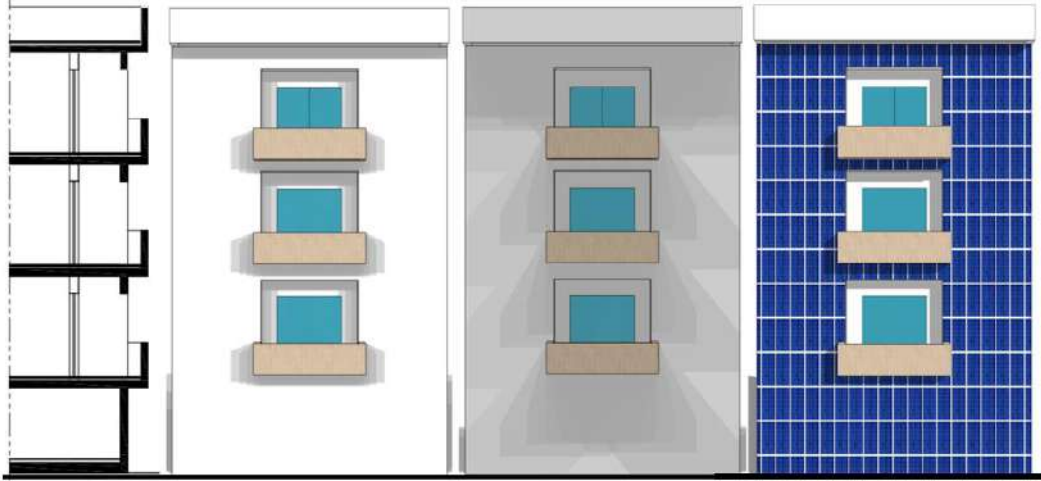
المصدر: عمل الباحث



شكل (٦-٦) أثر الظلال على الألواح طوال اليوم في فصلي الصيف والشتاء من الساعة

٩ صباحاً حتى الساعة ٣ عصراً للبديل الافتراضي الثاني

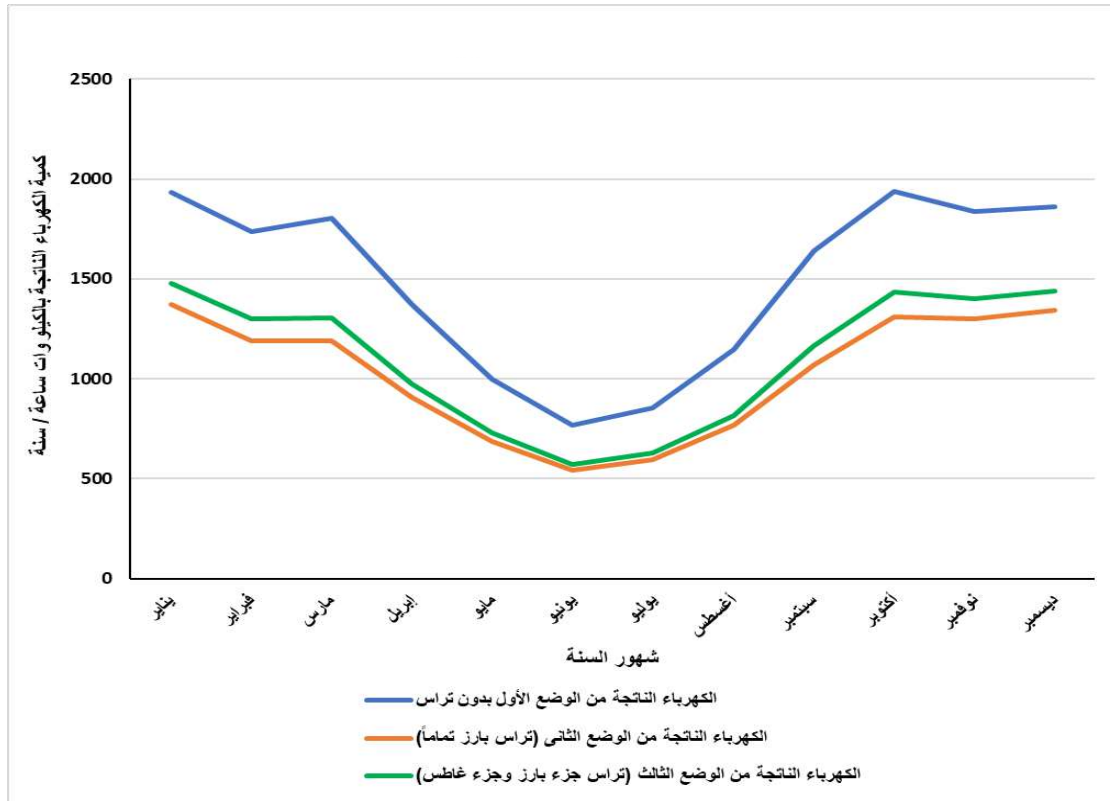
المصدر: عمل الباحث



شكل (٦-٧) أثر الظلال على الألواح طوال اليوم في فصلي الصيف والشتاء من الساعة ٩ صباحاً حتى الساعة ٣ عصراً للبديل الافتراضي الثالث
المصدر: عمل الباحث

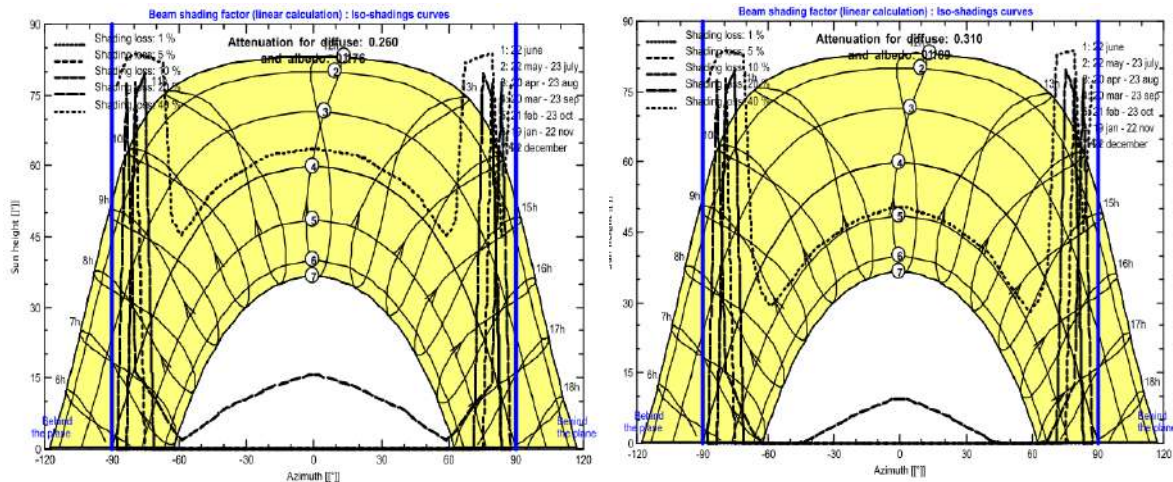
جدول (٦-٣) كمية الكهرباء الناتجة من الأوضاع المختلفة للبدائل نتيجة ظل التراسات

بديل (3)	بديل (2)	بديل (1)	شهور السنة	م
إجمالي الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية ك.و.س/سنة				
1478	1374	1933	يناير	1
1300	1192	1737	فبراير	2
1304	1190	1802	مارس	3
972	909	1370	إبريل	4
729	688	1000	مايو	5
570	541	766	يونيو	6
630	596	856	يوليو	7
817	769	1147	أغسطس	8
1167	1072	1640	سبتمبر	9
1434	1309	1939	أكتوبر	10
1402	1298	1838	نوفمبر	11
1437	1342	1863	ديسمبر	12
13240	12280	17891	اجمالي الكهرباء الناتجة للسنة	
26%	31%	0%	النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء المفقودة	



شكل (٦-٨) الكهرباء الناتجة من الأوضاع المختلفة من التراسات نتيجة الظل على الألواح

المصدر: عمل الباحث



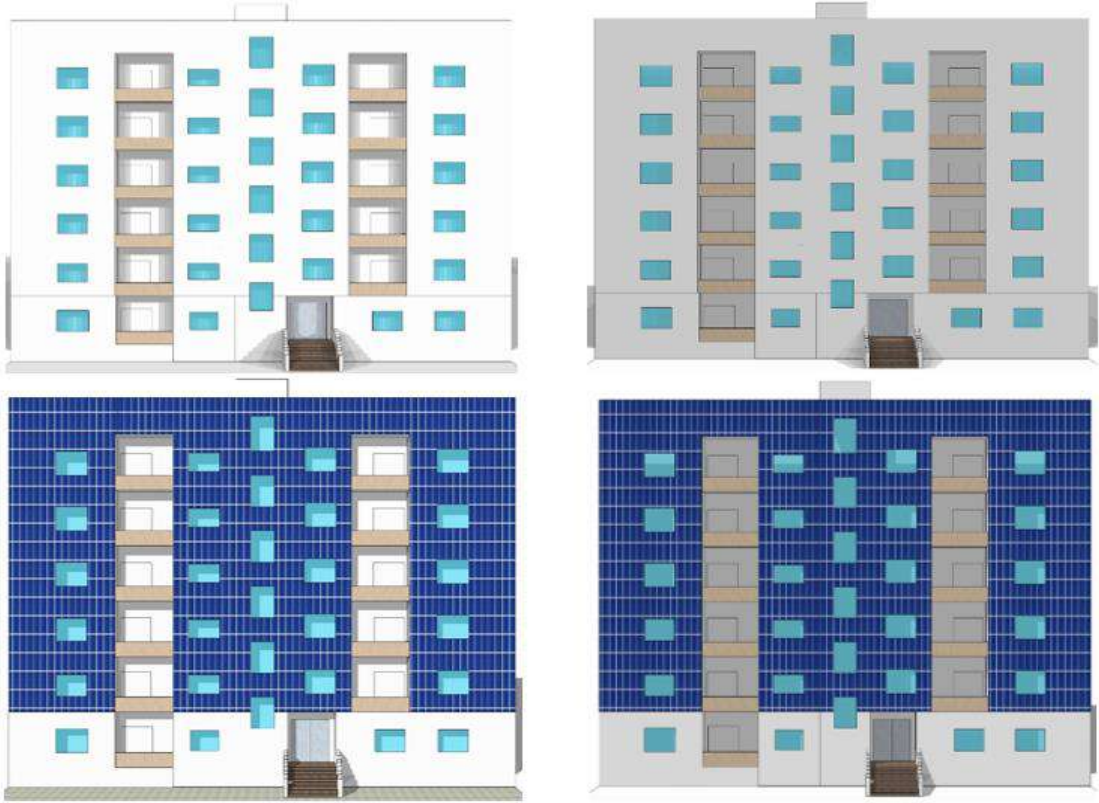
ب- تأثير الظل على البديل الافتراضي الثالث

أ- تأثير الظل على البديل الافتراضي الثاني

شكل (٦-٩) تأثير الظل على الألواح في البدائل المختلفة للمبنى

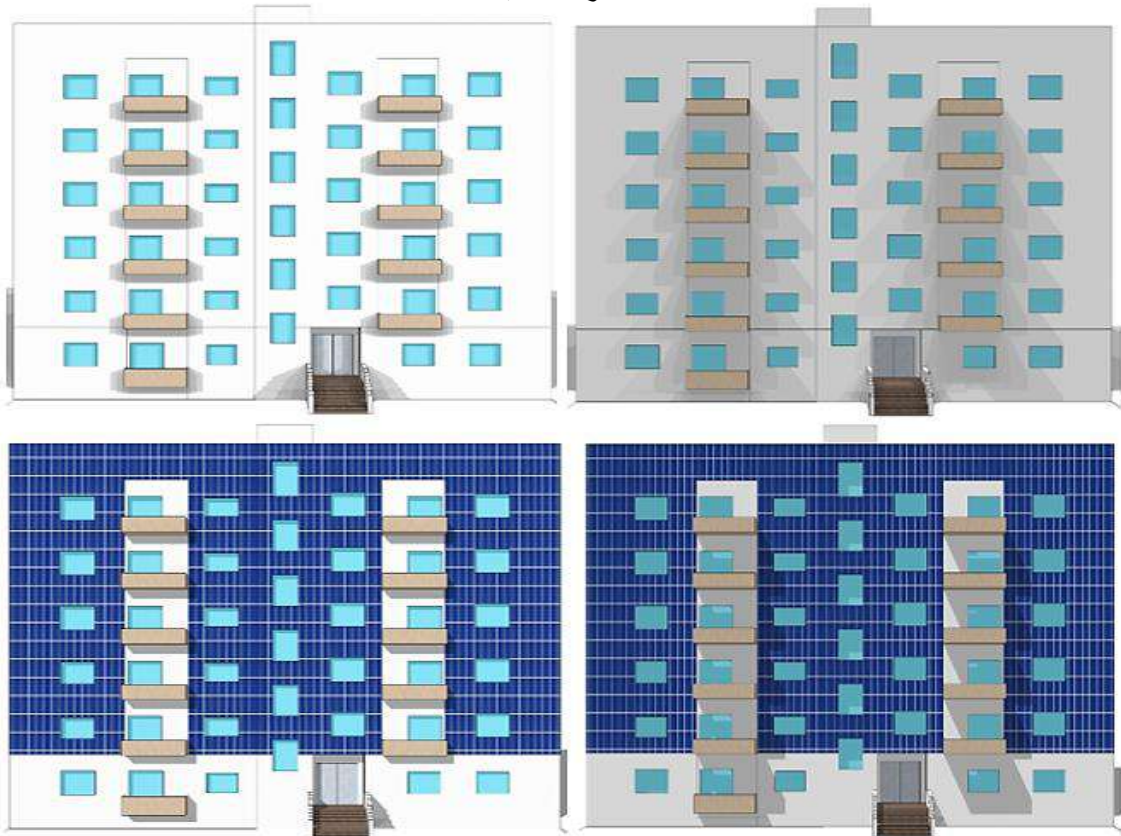
المصدر: عمل الباحث

ومن خلال ما سبق تم تطبيق النتائج السابقة على الواجهة الجنوبية للنموذج التطبيقي (٢) المتمثل في نموذج دار مصر الذي تم ذكره في الفصل السابق، حيث تم تعديل الواجهة، وجعل التراسات غاطسة في المبنى، وبالتالي انعدمت الظلال الناتجة عن بروز التراسات، كما يتضح بالشكل (٦-١٠)، وبإجراء المحاكاة تبين ارتفاع كمية الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية، حيث بلغت ٥١٥٦٦ ك.و.س/سنة مقارنة بالنتيجة السابقة حيث بلغت كمية الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية ٤٠٠٩٨ ك.و.س/سنة، كما يتضح بالشكل (٦-١١)، مما يعني زيادة كمية الكهرباء الناتجة بنسبة ٢٨,٦٪، كما يتضح بالجدول (٦-٤) والشكل (٦-١٢).



شكل (٦-١٠) أثر ظل التراسات الغاطسة في الواجهة الجنوبية على الألواح طوال اليوم في فصلي الصيف والشتاء من الساعة ٩ صباحاً حتى الساعة ٣ عصراً لنموذج دار مصر

المصدر: عمل الباحث

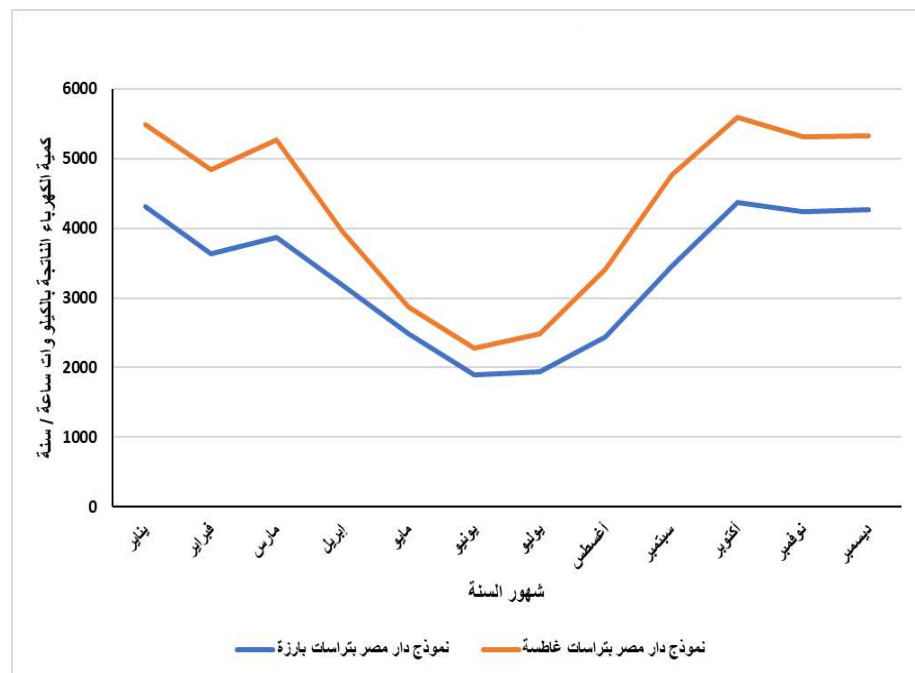


شكل (٦-١١) أثر ظل التراسات البارزة في الواجهة الجنوبية على الألواح طوال اليوم في فصلي الصيف والشتاء من الساعة ٩ صباحاً حتى الساعة ٣ عصراً لنموذج دار مصر

المصدر: عمل الباحث

جدول (٦-٤) كمية الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر بتغير التراسات نتيجة الظل في الواجهة الجنوبية

شهور السنة	م	نموذج دار مصر بتراسات بارزة	نموذج دار مصر بتراسات غاطسة
إجمالي الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية ك.و.س/سنة			
1	يناير	4317	5485
2	فبراير	3627	4836
3	مارس	3865	5265
4	إبريل	3179	3941
5	مايو	2479	2873
6	يونيو	1897	2273
7	يوليو	1944	2484
8	أغسطس	2447	3414
9	سبتمبر	3459	4766
10	أكتوبر	4375	5589
11	نوفمبر	4244	5313
12	ديسمبر	4265	5327
اجمالي الكهرباء الناتجة للسنة		40098	51566
النسبة المئوية لإجمالي الكهرباء المفقودة		0%	29%



شكل (٦-١٢)
الكهرباء الناتجة من نموذج دار مصر بتغير التراسات نتيجة الظلال على الألواح في الواجهة الجنوبية
المصدر:
عمل الباحث

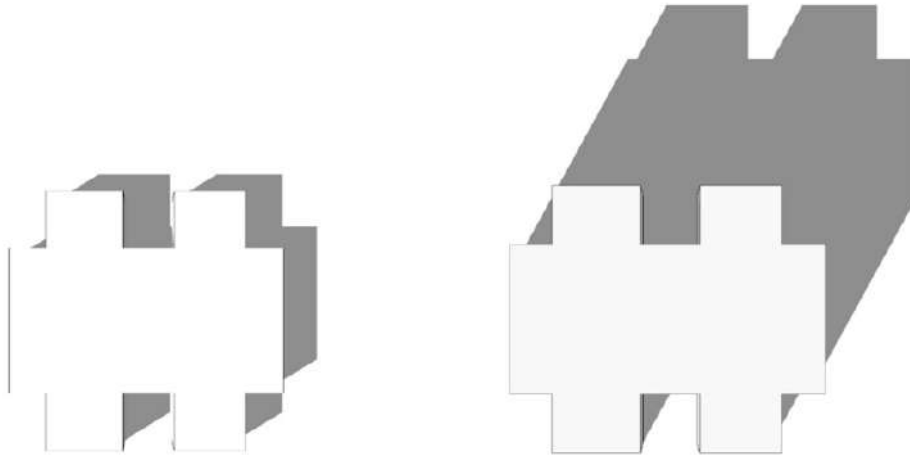
وبناءً عليه يتضح مما سبق ما يلي: -

- يمكن استخدام التراسات في الواجهة الشمالية التي لا يتم تركيب ألواح النظام عليها، ولكن لا يفضل عمل تراسات في الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية، لأنها تعمل على اضعاف كمية الكهرباء الناتجة نتيجة ظلال تلك التراسات على الألواح، حيث أن بروز التراسات ينتج عنه ظلال مختلفة، ففي فصل الشتاء تكون زاوية ارتفاع الشمس منخفضة تصل إلى ٣٢°، ولذلك يكون الظل الناتج عن البروزات أو التراسات ظل بسيط على الواجهة، أما في فصل الصيف تكون زاوية ارتفاع الشمس مرتفعة تصل إلى ٨٢°، ولذلك يكون الظل الناتج عن البروزات أو التراسات ظل معقد على الواجهة، نتيجة تداخل الظلال مع بعضها البعض من خلال تراكب ظلال التراسات مع بعضها البعض في الأدوار المختلفة، وتداخل بروز دروة السطح أيضاً.
- يمكن استخدام البروزات في الواجهة الشمالية مثل الكرانيش أو الدروة البارزة أو الأبراج، ولكن لا يفضل استخدام هذه البروزات في باقي الواجهات، لأنها تعمل على اضعاف كمية الكهرباء الناتجة، على غرار التراسات.
- يفضل أن تكون الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية ذات تعبير معماري أملس، حتى لا يضعف إنتاج الكهرباء.

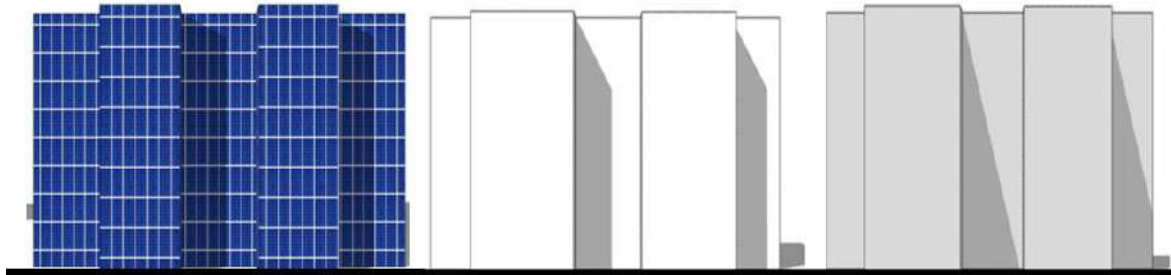
٦-٢-٢ ظل كتلة المبنى

- يتمثل المحدد الفرعي الثاني في ظل كتلة المبنى، حيث تنتج الظلال الذاتية للواجهات من خلال شكل كتل المبنى، وبناء عليه فإنه من المنطقي عدم استخدام الكتل المعقدة في المبنى، ولدراسة أثر هذه الظلال تم عمل محاكاة لثلاث أشكال معقدة، تعد من أكثر الأشكال المعمارية استخداماً في المباني السكنية، لمعرفة أثر تأثير الظل على إنتاج الكهرباء على تلك الأشكال من خلال تثبيت ألواح على الواجهات الجنوبية والشرقية والغربية، ويتكون النموذج الافتراضي للأشكال المعقدة من مبنى مكون من ٣ طوابق، ويبلغ ارتفاع الطابق ٣م، ويبلغ ارتفاع الواجهة ٩م، وطولها ١٥م، وعرضها ١١م، وتم تثبيت الألواح على جدار الواجهات الجنوبية والشرقية والغربية، وتبلغ أبعاد الألواح (١٠٠٠×٥٠٠ مم).
- الشكل الأول يتكون من مبنى على شكل "H Well-Shape" وتم تثبيت ألواح على جدار الواجهات الجنوبية بمسطح ١٣٥م^٢، وعلى جدار الواجهة الشرقية والغربية بمسطح ٩٩م^٢، كما يتضح بالشكل (٦-١٣).
 - الشكل الثاني "Cross-Shape" وتم تثبيت ألواح على جدار الواجهات الجنوبية بمسطح ١٣٥م^٢، وعلى جدار الواجهة الشرقية والغربية بمسطح ٩٩م^٢، كما يتضح بالشكل (٦-١٤).
 - الشكل الثالث "Y-Shape" وتم تثبيت الألواح بنفس الأشكال السابق ذكرها، كما يتضح بالشكل (٦-١٥).
- ومن خلال المحاكاة يتبين من الجدول (٦-٥) أنه يتكون من ثمانية أعمدة، يوضح العمود الثاني أشكال الكتل، ويوضح العمود الثالث كمية الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية لكل شكل من الأشكال، ومن خلال المحاكاة تبين أن أقل كمية للكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية هي للشكل "Well-Shape" حيث بلغت ١٧٧٦٠ ك.و.س/سنة، وأعلى كمية للكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية هي للشكل "Cross-Shape" حيث بلغت ١٩٠٩٠ ك.و.س/سنة، أما يوضح العمود الرابع كمية الكهرباء الناتجة عن الوضع المثالي للواجهة الجنوبية بدون ظلال على الكتلة حيث بلغت ٢١٧٢٠ ك.و.س/سنة، وبنفس مساحة الواجهات الجنوبية لأشكال المعقدة التي بلغت مسطحهم ١٣٥م^٢، ويوضح العمود الخامس الانخفاض في الكهرباء الناتجة من الأشكال المعقدة بالنسبة إلى الوضع المثالي للواجهة الجنوبية، فبلغت نسبة الانخفاض في الشكل "Cross-Shape" ١٢,١١٪، وبلغت في الشكل "Y-Shape" ١٤,٠٩٪، وبلغت في الشكل "Well-Shape" ١٨,٢٣٪. ويوضح العمود السادس كمية الكهرباء الناتجة من إجمالي الكتلة من خلال الواجهات الجنوبية والشرقية والغربية، حيث ينتج الشكل "Cross-Shape" ٥٢١٠٠ ك.و.س/سنة، وينتج الشكل "Y-Shape" ٤٩٦٠٠ ك.و.س/سنة، وينتج الشكل "Well-Shape" ٤٨٧٦٠ ك.و.س/سنة، ويوضح العمود السابع الكهرباء الناتجة من الوضع

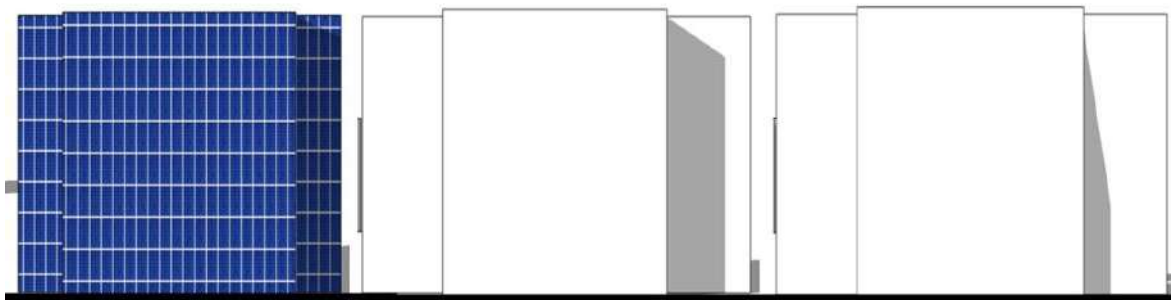
الأمثل وهو الشكل المستطيل محور شمال جنوب كما تم ذكره في الفصل السابق بعمله بنفس مساحة الأشكال المعقدة التي بلغت ١٦٥م^٢، فبلغت إجمالي كمية الكهرباء الناتجة من الوضع الأمثل للكتلة ٥٦٨١٠ ك.و.س/سنة. ويوضح العمود الثامن الانخفاض في الكهرباء الناتجة من إجمالي الأشكال المعقدة بالنسبة إلى الوضع الأمثل للكتلة المستطيلة محور شمال جنوب، فبلغت نسبة الانخفاض في إجمالي الكتلة "Cross-Shape" ٨,٢٩٪، وبلغت في الشكل "Y-Shape" ١٢,٦٩٪، وبلغت في الشكل "Well-Shape" ١٤,١٧٪. ويتضح من خلال المحاكاة أن أقل كتلة هي "Well-Shape" ثم "Y-Shape" ثم "Cross-Shape"، كما يتضح في الشكلين (٦-١٦) و(٦-١٧).



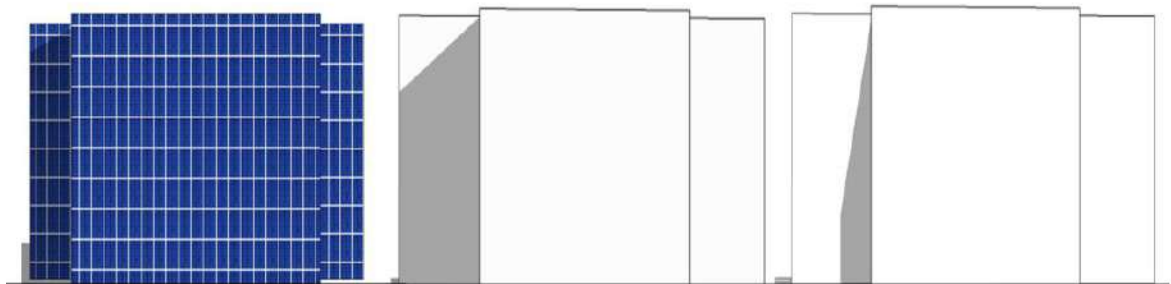
أ - الظل الناتج من شكل الموقع العام لشكل Well Shape صيفاً وشتاءً



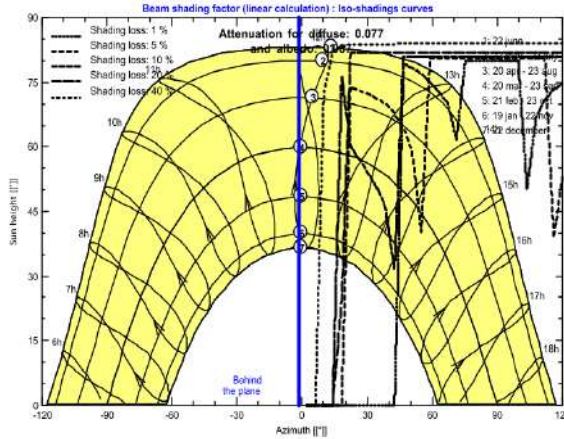
ب - الظل الناتج من الواجهة الجنوبية لشكل Well Shape صيفاً وشتاءً



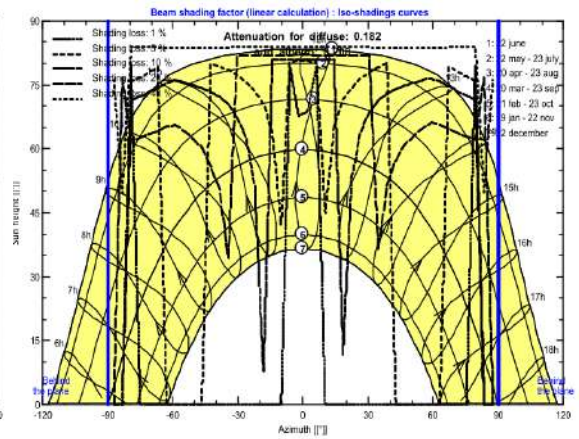
ج - الظل الناتج من الواجهة الشرقية لشكل Well Shape صيفاً وشتاءً



د - الظل الناتج من الواجهة الغربية لشكل Well Shape صيفاً وشتاءً



و- تأثير الظل على الواجهة الغربية لشكل Well Shape



ه- تأثير الظل على الواجهة الجنوبية لشكل Well Shape

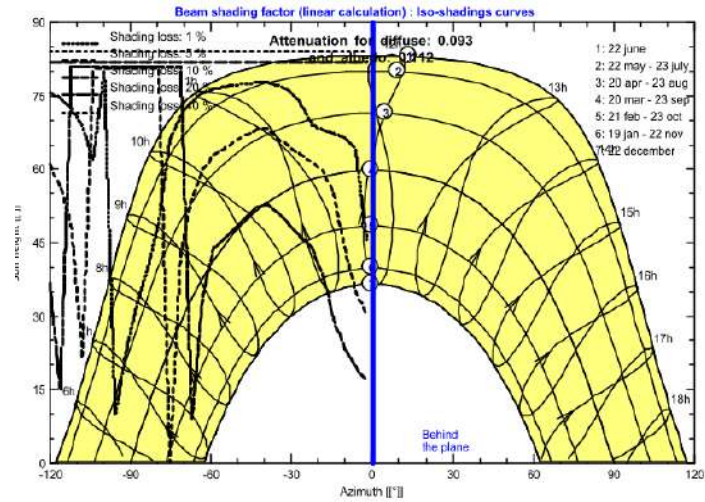
س- تأثير الظل على الواجهة الشرقية لشكل

Well Shape

شكل (٦-١٣)

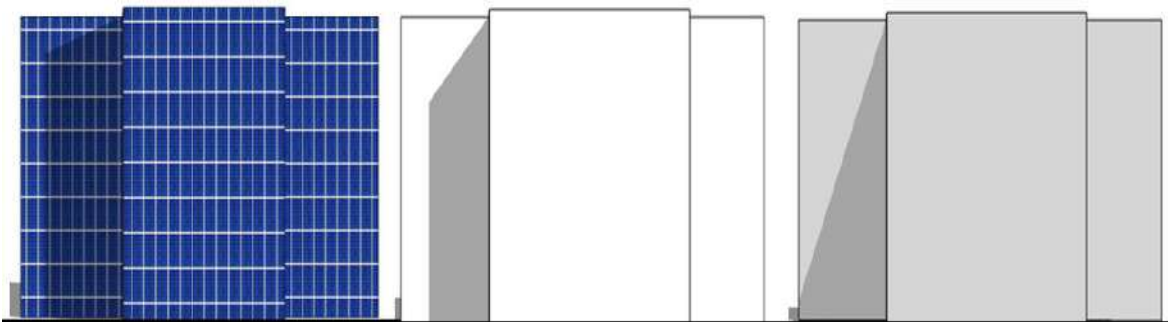
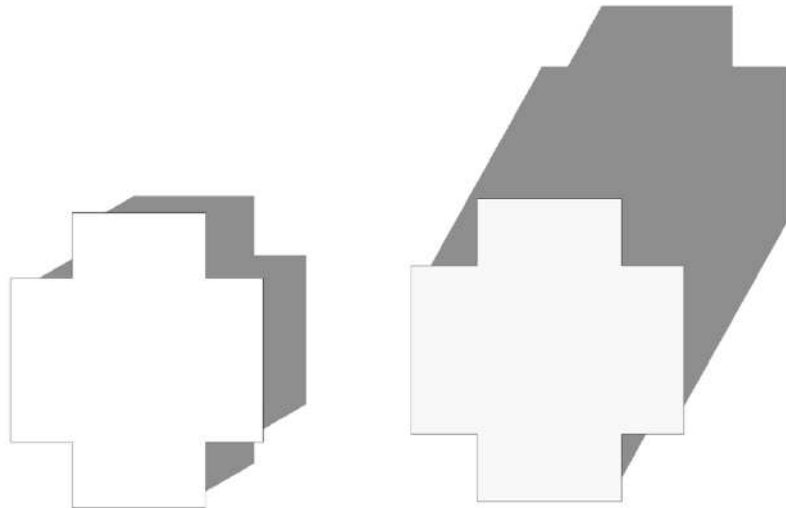
يوضح شكل Well Shape

المصدر: عمل الباحث

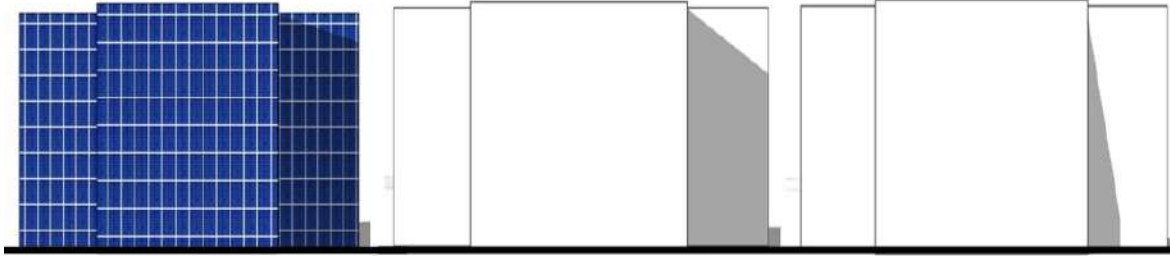


أ - الظل الناتج من الموقع العام لشكل

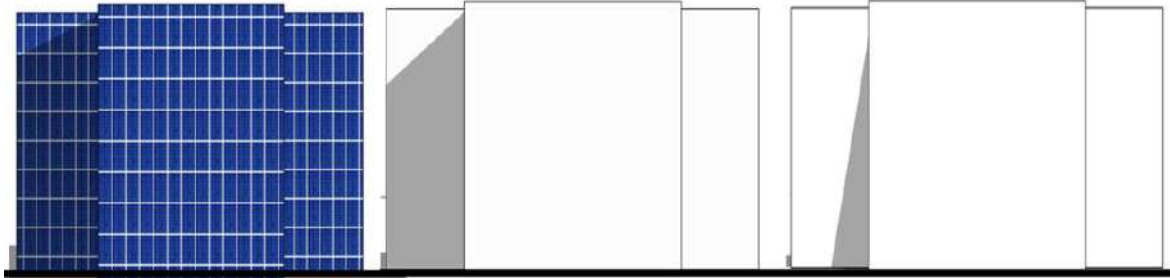
Cross Shape شتاءً وصيفاً



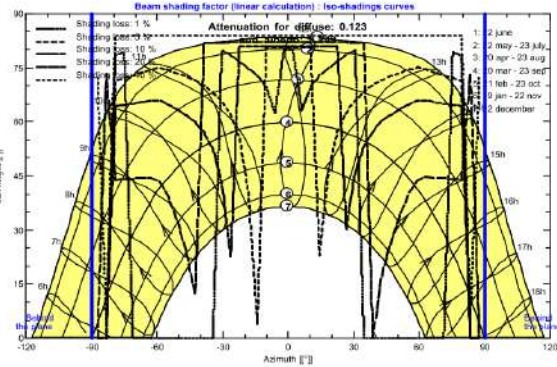
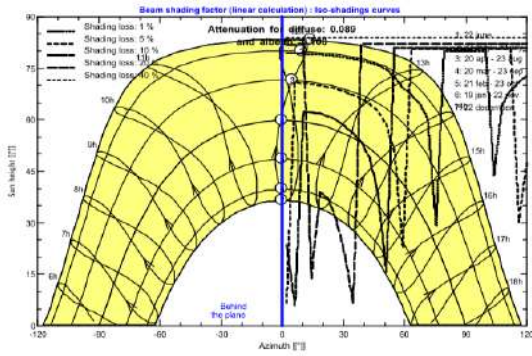
ب - الظل الناتج من الواجهة الجنوبية لشكل Cross Shape صيفاً وشتاءً



ج - الظل الناتج من الواجهة الشرقية لشكل Cross Shape صيفاً وشتاءً

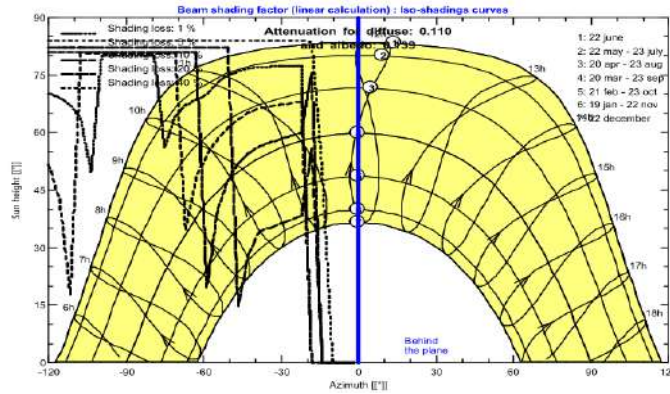


د - الظل الناتج من الواجهة الغربية لشكل Cross Shape صيفاً وشتاءً



و- تأثير الظل على الواجهة الغربية لشكل Cross Shape

هـ- تأثير الظل على الواجهة الجنوبية لشكل Cross Shape



س- تأثير الظل على الواجهة الشرقية

شكل Cross Shape

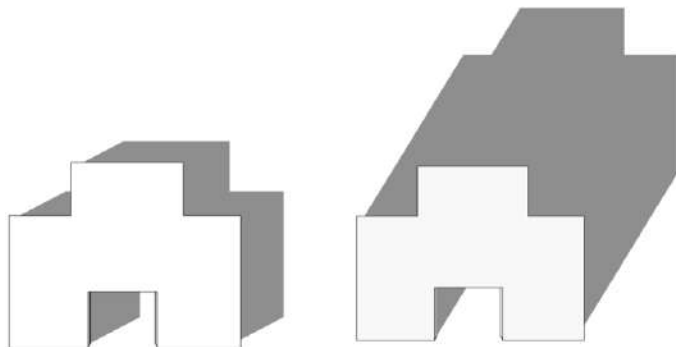
شكل (٦-١٤)

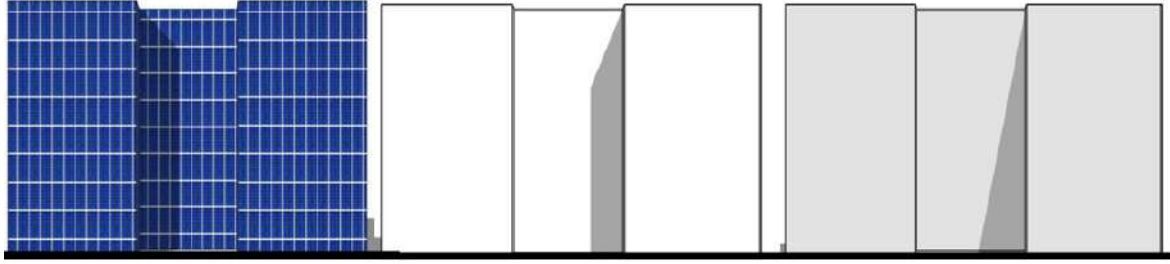
يوضح شكل Cross Shape

المصدر: عمل الباحث

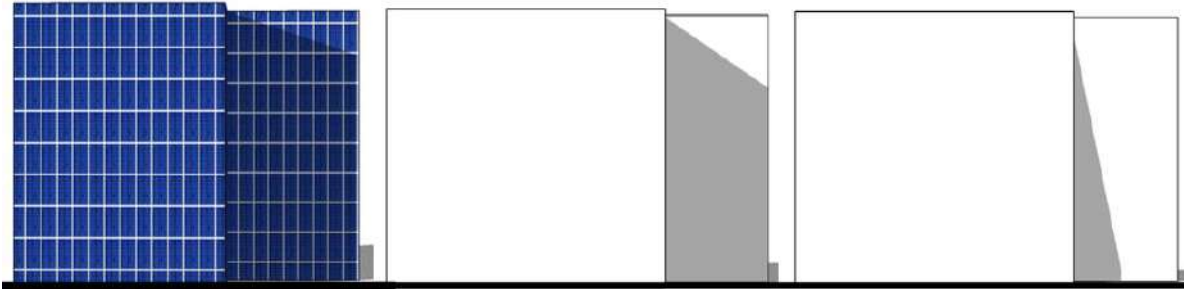
أ - الظل الناتج من الموقع العام لشكل

Y-Shape شتاءً وصيفاً

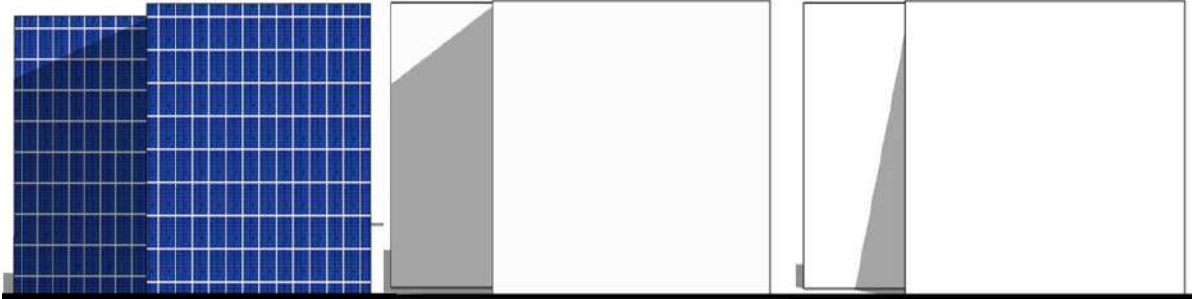




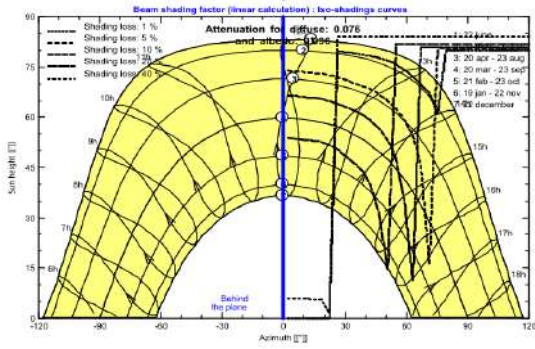
ب - الظل الناتج من الواجهة الجنوبية لشكل Y-Shape صيفاً وشتاءً



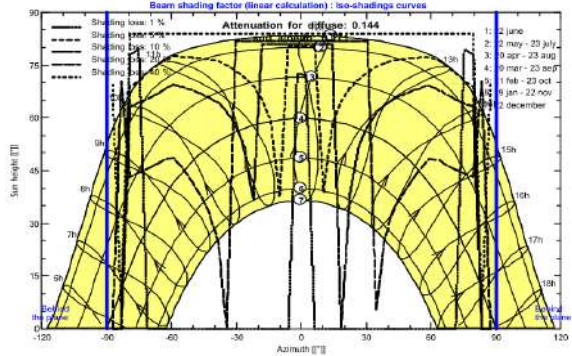
ج - الظل الناتج من الواجهة الشرقية لشكل Y-Shape صيفاً وشتاءً



د - الظل الناتج من الواجهة الغربية لشكل Y-Shape صيفاً وشتاءً



و- تأثير الظل على الواجهة الغربية لشكل Y-Shape



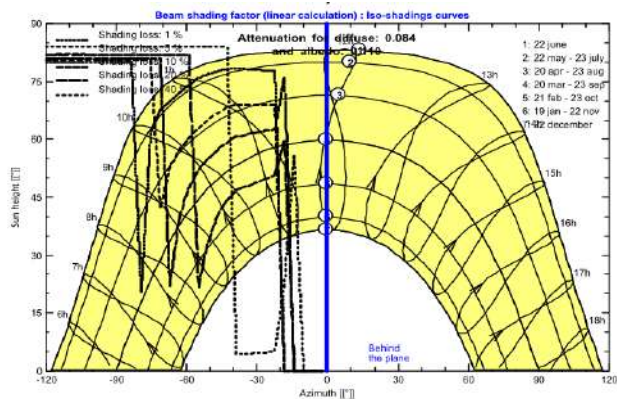
هـ- تأثير الظل على الواجهة الجنوبية لشكل Y-Shape

س- تأثير الظل على الواجهة الغربية لشكل Y-Shape

شكل (٦-١٥)

يوضح شكل Y-Shape

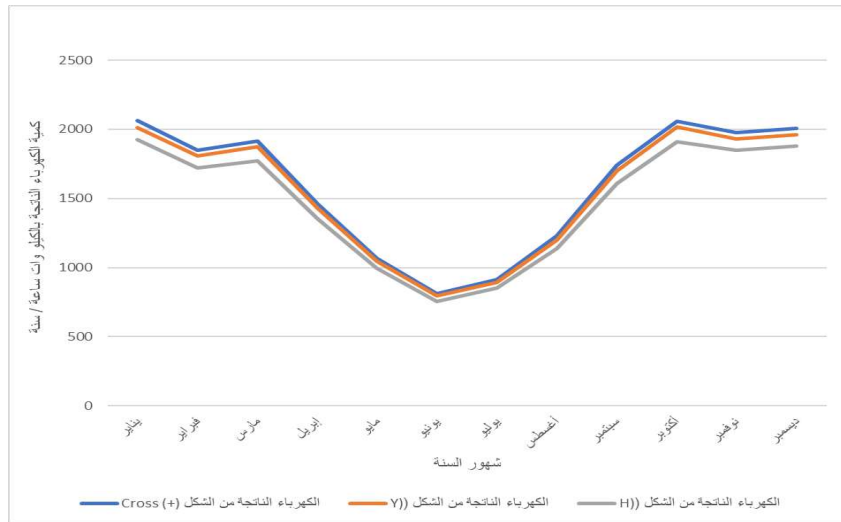
المصدر: عمل الباحث



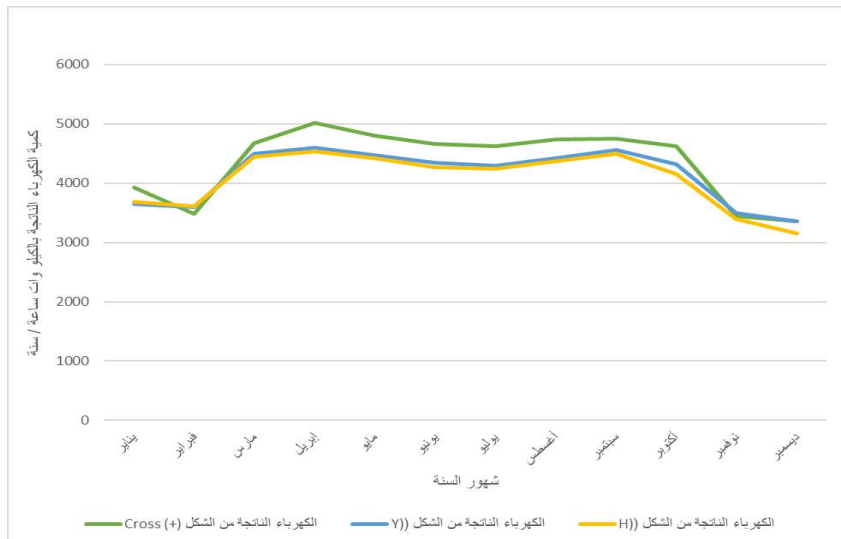
جدول (٦-٥) كمية الكهرباء الناتجة من الأشكال المعقدة

م	النموذج	كمية الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية ك.و.س/سنة	كمية الكهرباء الناتجة عن الوضع المثالي		الانخفاض في الكهرباء الناتجة بالنسبة المئوية	كمية الكهرباء الناتجة عن إجمالي المبنى	الانخفاض في الكهرباء الناتجة عن الوضع الأمثل	الانخفاض في الكهرباء الناتجة بالنسبة المئوية
			الانخفاض في الكهرباء الناتجة بالنسبة المئوية	كمية الكهرباء الناتجة عن إجمالي المبنى				
1		19090	21720	12.11%	52100	8.29%	56810	12.69%
2		18660	21720	14.09%	49600	14.17%		
3		17760	21720	18.23%	48760	14.17%		

شكل (٦-١٦)
الكهرباء الناتجة من الواجهة الجنوبية للأشكال المعقدة المختلفة
المصدر:
عمل الباحث

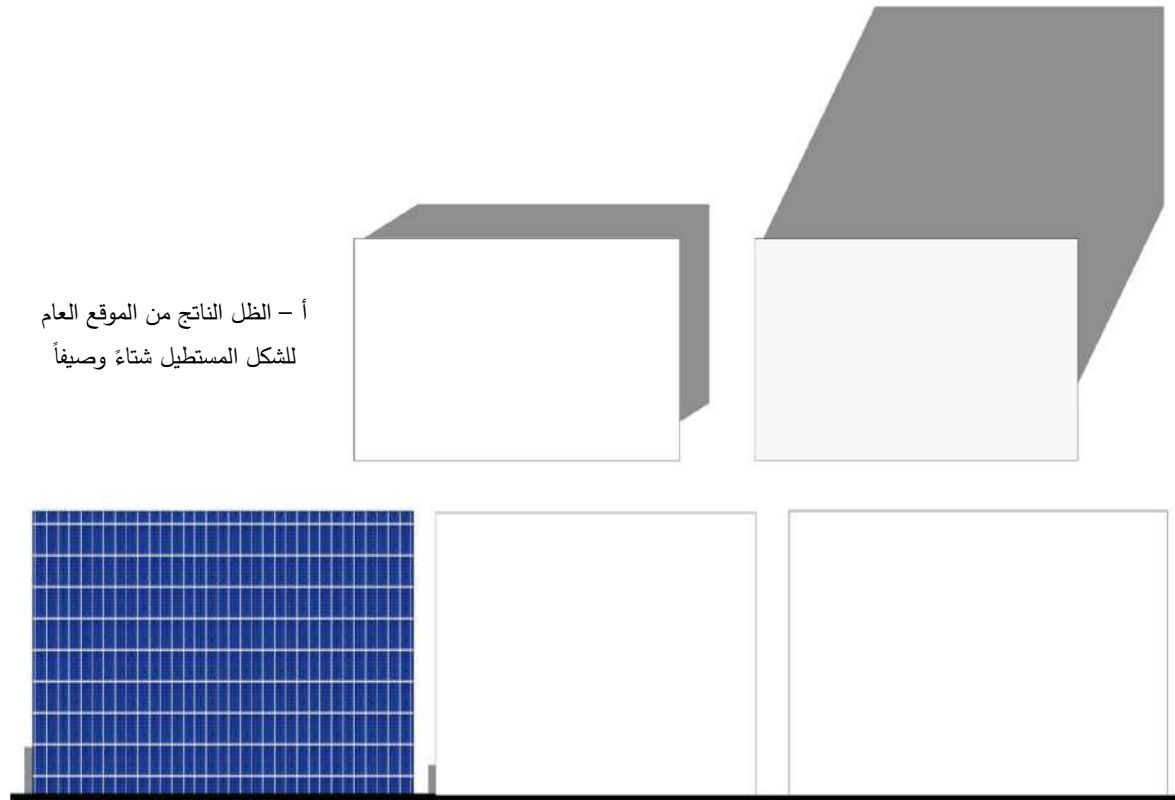


شكل (٦-١٧)
الكهرباء الناتجة من إجمالي المبنى للأشكال المعقدة المختلفة
المصدر:
عمل الباحث



وبناءً عليه يتضح مما سبق ما يلي: -

- يفضل عدم استخدام الأشكال والكتل المعقدة في الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية، حيث تقل كمية الكهرباء نتيجة الظلال من ٨ إلى ٢٠ %، حيث تعتمد على زاوية ارتفاع الشمس في الفصول المختلفة، ونوع الظل سواء كان ظل بسيط أو ظل معقد، ولذلك لا يفضل بروز كتل عن بعضها نتيجة الظل الواقع عليها كما يتضح من الأشكال السابقة.
 - يفضل استخدام الكتل البسيطة الواضحة، مثل الشكل المستطيل أو حتى الدائري أو U-Shape ولكن يفضل أن يكون حرف U موجه ناحية الشمال للاستفادة من الثلاث أضلاع الأخرى له في إنتاج الكهرباء واستخدام النظام، كما يتضح بالشكلين (٦-١٨) و(٦-١٩).
- أما المكون الثاني للظلال والتمثلة في ظل المبنى على الأرض والمباني المجاورة سيتم شرحه بالتفصيل في المحددات التخطيطية المتعلقة بتجميع المباني مع بعضها.



أ - الظل الناتج من الموقع العام
للشكل المستطيل شتاءً وصيفاً

ب - الظل الناتج من الواجهة الجنوبية والواجهة الشرقية أو الغربية للشكل المستطيل صيفاً وشتاءً

شكل (٦-١٨) يوضح الشكل المستطيل

المصدر: عمل الباحث



أ - الظل الناتج من الموقع العام
لشكل U-Shape شتاءً وصيفاً

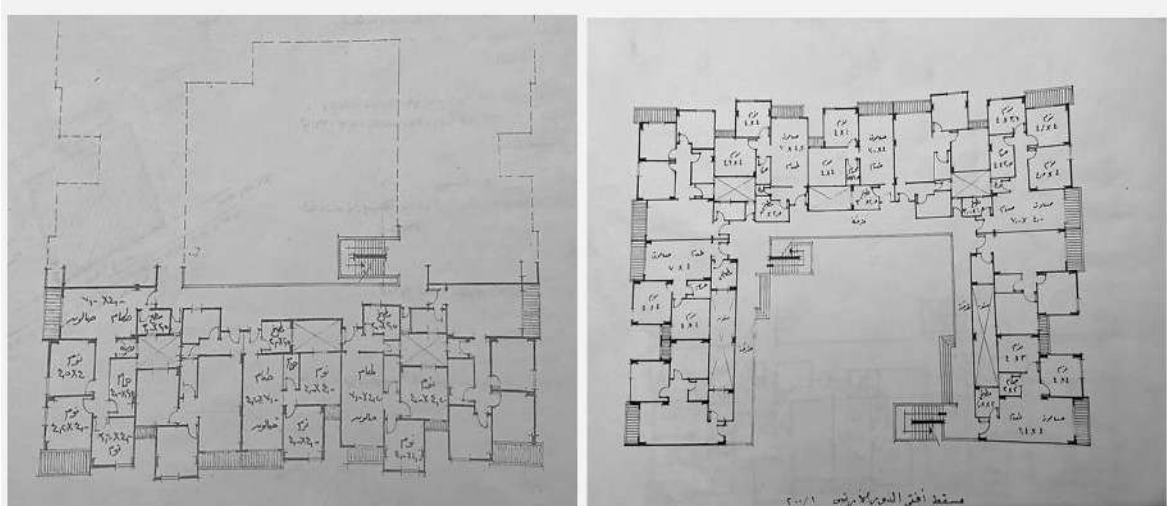


ج - الظل الناتج من الواجهة الجنوبية والواجهة الشرقية أو الغربية لشكل U-Shape صيفاً وشتاءً
شكل (٦-١٩) يوضح شكل U-Shape
المصدر: عمل الباحث

وللتأكيد على النتيجة السابقة الخاصة باستخدام الكتل البسيطة الواضحة وخاصة ذات الشكل U-Shape، تم عمل محاكاة على نموذج واقعي تطبيقي رقم (٥)، والمتمثل في مشروع مدينة الفردوس الكائنة بطريق الواحات بمدينة ٦ أكتوبر، ويتمثل النموذج السكني المكون من عمارة سكنية ٤ أدوار وأرضى، والموقع العام على شكل حرف U-Shape، ويضم كل طابق ٩ وحدات سكنية، كما يتضح بالشكل (٦-٢٠)، وتم تركيب ألواح نظام BIPV على النموذج مع عمل التعديلات السابق ذكرها، كما يتضح بالشكل (٦-٢١). وبتطبيق المعايير السابق ذكرها على النموذج الواقعي (٥)، يتضح من خلال الشكل (٦-٢٢) والجدول رقم (٦-٦)، أن الكهرباء الناتجة عن النموذج في حالة شكل حرف U تبلغ ٢٦٥٠٢٧ ك.و.س/سنة، وتبلغ في حالة الشكل المربع ٣٣٥١٥٢ ك.و.س/سنة أي تبلغ نسبة الزيادة ٢٦,٥٪.



أ - الموقع العام الحالي لمدينة الفردوس



ب - المسقط الأفقي قبل التعديل

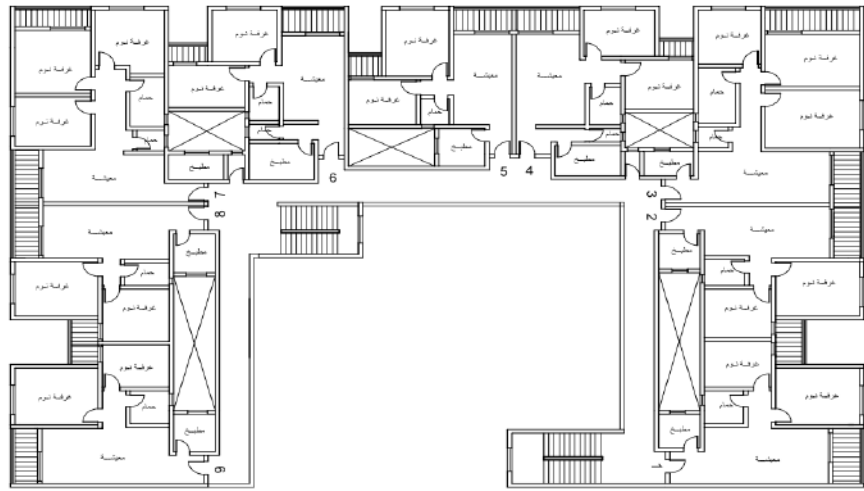


ج - زيارة مشروع مدينة الفردوس بمدينة ٦ أكتوبر

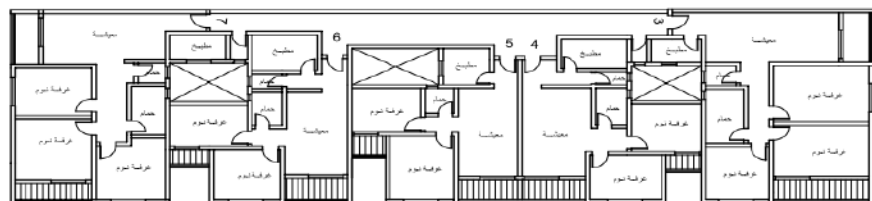
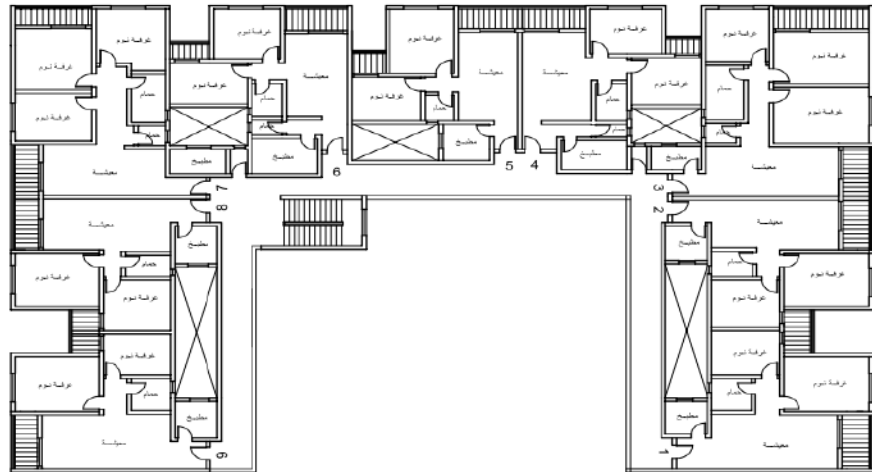
شكل (٦-٢٠) مدينة الفردوس بمدينة ٦ أكتوبر

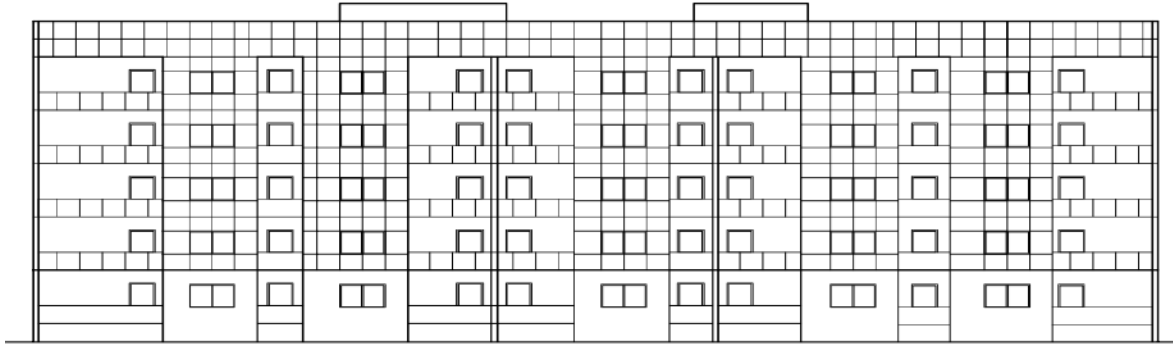
المصدر: تصوير الباحث في ١٢-٢-٢٠٢٤

أ - المسقط الأفقي بعد التعديل
لنموذج U-Shape



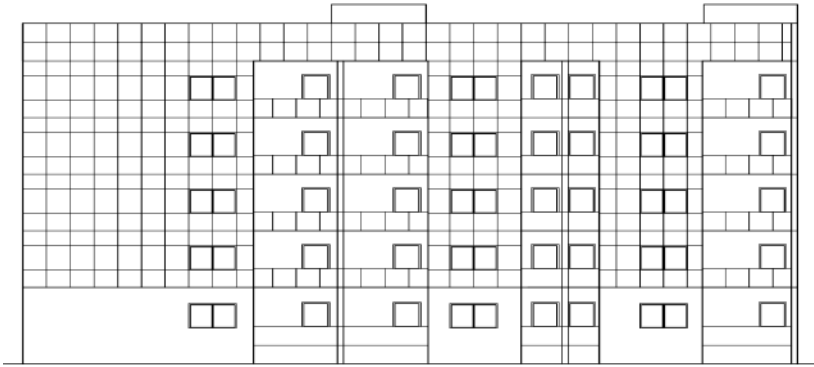
ب - المسقط الأفقي بعد التعديل
لنموذج المربع





ج - الواجهة الجنوبية للنموذج بعد تركيب نظام BIPV

د - الواجهة الغربية للنموذج بعد تركيب نظام BIPV
شكل (٦-٢١)
رسومات النموذج بعد التعديل
المصدر: الباحث



جدول (٦-٦) كمية الكهرباء الناتجة من نموذج (٥) المتمثل في مدينة الفردوس

توزيع الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة		المكان
شكل □	شكل U	
174389	129724	السطح
60799	60799	الواجهة الجنوبية
51474	38364	الواجهة الغربية
48490	36140	الواجهة الشرقية
335152	265027	إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة
26.5%	—	النسبة المتوقعة للزيادة

شكل (٦-٢٢)
كمية الكهرباء الناتجة من وضعين النموذج التطبيقي (٥) بالنسبة إلى إجمالي الكهرباء
المصدر: الباحث



ومن خلال ما سبق تتضح النتائج التالية:-

- أ. يمكن استخدام كل الألوان في ألواح BIPV في الواجهات ما عدا اللونين الأبيض والأخضر الفاتح وذلك لضعف إنتاجيتهم من الطاقة الكهربائية.
- ب. يمكن استخدام الألواح الملونة كنظام لتكسيات الواجهات بديل عن مواد التكسيات التقليدية المعتادة مثل الرخام أو الجرانيت أو الحجر أو الكلاينج.
- ج. يمكن استخدام الألواح الملونة بشكل يعطى ملمس خشن للواجهة مثل بعض الألواح التي على الشكل الرخامي كما يتضح في الشكل (٦-٣) أو كما استخدم في مثال مدرسة كوينهاجن الدولية.
- د. يمكن استخدام التراسات في الواجهة الشمالية التي لا يتم تركيب ألواح النظام عليها، ولكن لا يفضل عمل تراسات في الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية، لأنها تعمل على اضعاف كمية الكهرباء الناتجة نتيجة ظلال تلك التراسات على الألواح، حيث بروز التراسات ينتج عنه ظلال مختلفة ففي فصل الشتاء تكون زاوية ارتفاع الشمس منخفضة تصل إلى ٣٢°، ولذلك يكون الظل الناتج عن البروزات أو التراسات ظل بسيط على الواجهة، أما في فصل الصيف تكون زاوية ارتفاع الشمس مرتفعة تصل إلى ٨٢°، ولذلك يكون الظل الناتج عن البروزات أو التراسات ظل معقد على الواجهة، نتيجة تداخل الظلال مع بعضها البعض من خلال تراكب ظلال التراسات مع بعضها البعض في الأدوار المختلفة، وتداخل بروز دروة السطح أيضاً.
- هـ. يمكن استخدام البروزات في الواجهة الشمالية مثل الكرانيش أو الدروة البارزة أو الأبراج، ولكن لا يفضل استخدام هذه البروزات في باقي الواجهات، لأنها تعمل على اضعاف كمية الكهرباء الناتجة، على غرار التراسات.
- و. يفضل أن تكون الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية ذات تعبير معماري أملس، حتى لا يضعف إنتاج الكهرباء.
- ز. يفضل عدم استخدام الأشكال والكتل المعقدة في الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية، حيث تقل كمية الكهرباء نتيجة الظلال من ٨ إلى ٢٠%، حيث تعتمد على زاوية ارتفاع الشمس في الفصول المختلفة، ونوع الظل سواء كان ظل بسيط أو ظل معقد، ولذلك لا يفضل بروز كتل عن بعضها نتيجة الظل الواقع عليها كما يتضح من الأشكال السابقة.
- ح. يفضل استخدام الكتل البسيطة الواضحة، مثل الشكل المستطيل أو حتى الدائري أو U-Shape ولكن يفضل أن يكون حرف U موجه ناحية الشمال للاستفادة من الثلاث أضلاع الأخرى له في إنتاج الكهرباء واستخدام النظام.

الفصل السابع

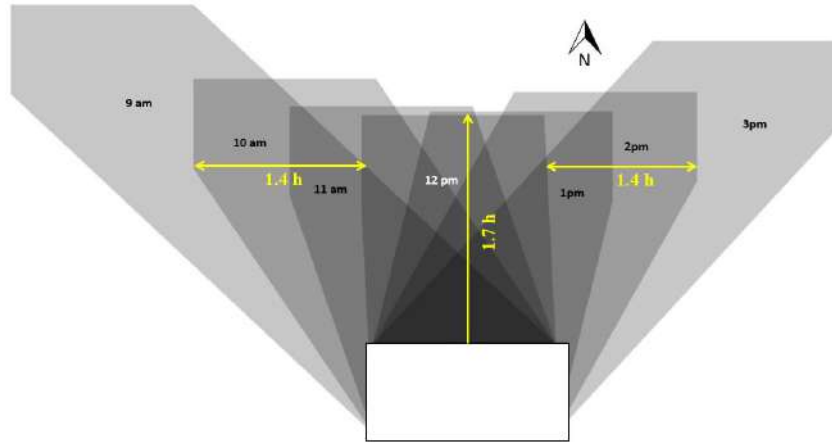
محددات الموقع العام

يتمثل الجزء الرابع من الدراسة التطبيقية في دراسة محددات الموقع العام للمباني المولدة للطاقة، حيث أن تصميم أي مبنى يستخدم الطاقة الشمسية سينجح إذا لم يكن هناك حائل يمنع أشعة الشمس للوصول إلى الألواح المثبتة في المبنى سواء كانت على السطح أو في الواجهات الجنوبية والشرقية والغربية، ولذلك لابد من وجود حد أدنى من التباعد بين المباني المجاورة لسهولة تحقيق الغرض من تلك المباني وهي توليد الطاقة، ولتحقيق ذلك يراعى تخطيطاً جيداً ودراسة حركة ظلال المبنى على الأرض لمعرفة المسافة الفاصلة بين مبنيين للاستفادة من أشعة الشمس للمباني المولدة للطاقة.

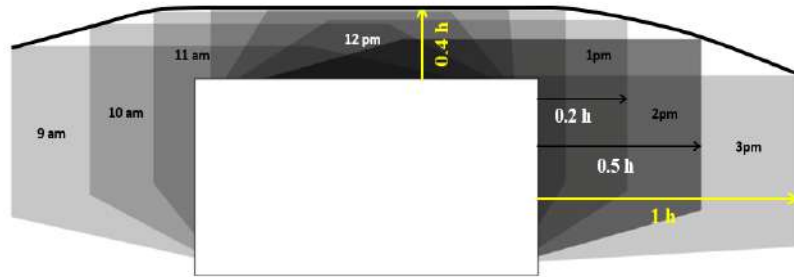
٧-١ ظل المبنى على الأرض

يتمثل المحدد الثاني في ظل المبنى إلى مكونين، المكون الأول ظل المبنى على نفسه، أو الظلال الذاتية للواجهة، كما تم ذكره بالتفصيل في الفصل السابق، والمكون الثاني ظل المبنى على الأرض، مما قد يؤدي إلى ضعف توليد الكهرباء، وانخفاض كفاءة النظام. ودراسة المكون الثاني للظلال والمتمثلة في ظل المبنى على الأرض والمباني المجاورة نجد أن ظل المبنى على الأرض ينتج من خلال علاقة ارتفاع المبنى مع حركة الشمس، فكلما يزداد ارتفاع المبنى يزداد الظل الملقى على الأرض، وتكون العلاقة طردية بين ارتفاع المبنى والظل الملقى على الأرض، ودراسة أثر هذه الظلال تم عمل محاكاة لنموذج افتراضي، على المحورين شمال جنوب وشرق غرب، لمعرفة دائرة الظل الناتجة من المبنى على محوريه المختلفين، ومعرفة الحد الأدنى للمسافة بين المباني وبعضها، ويتكون النموذج الافتراضي من مبنى على شكل مستطيل، يبلغ طول ضلعه (a)، وعرضه (b)، ويبلغ ارتفاع الواجهة (h)، وتم تثبيت الألواح على جدران الواجهة الجنوبية والشرقية والغربية بداية من الدور الأول وليس من الدور الأرضي كما تم شرحه سابقاً، وتم دراسة المحورين شمال جنوب وشرق غرب للمحاكاة تبين أن ظل المبنى على الأرض الناتج من المحور الأول محور شرق غرب في اتجاهي الشرق والغرب يبلغ 1.4h، بفصل الشتاء في الساعة ١٠ صباحاً، وكذلك في الساعة ٢ عصرًا، أما في الساعة ١٢ ظهرًا يبلغ الظل الناتج من المبنى 1.7h في اتجاه الشمال، أما في فصل الصيف يبلغ الظل الناتج من المبنى في اتجاهي الشرق والغرب من الساعة ١٠ صباحاً وكذلك الساعة ٢ عصرًا 0.5h، أما في الساعة ١٢ ظهرًا يبلغ الظل الناتج 0.4h في اتجاه الشمال، كما يتضح بالأشكال من (٧-١) إلى (٧-٣). أما بالنسبة إلى محور شمال جنوب يبلغ الظل الناتج من الكتلة على الأرض بفصل الشتاء في اتجاهي الشرق والغرب من الساعة ١٠ صباحاً وكذلك في الساعة ٢ عصرًا 1.4h، أما في الساعة ١٢ ظهرًا يبلغ الظل الناتج من المبنى 1.7h في اتجاه الشمال، أما في فصل الصيف يبلغ الظل الناتج من المبنى في اتجاهي الشرق والغرب من الساعة ١٠ صباحاً وكذلك في الساعة ٢ عصرًا 0.5h، أما في الساعة ١٢ ظهرًا يبلغ الظل الناتج 0.4h في اتجاه الشمال، كما يتضح بالأشكال من (٧-٤) إلى (٧-٦). وبالتالي يبلغ الحد الأدنى للمسافة بين المبنيين من جهتي الشرق والغرب 1.4h، بحيث يكون ظل المبنى على بداية حافة المبنى الآخر، ولكن لا يتم تثبيت ألواح BIPV في الدور الأرضي كما تم ذكره سابقاً، وبالتالي تقل المسافة بين المبنيين لتصل إلى 1.2h بحيث يصبح الظل على نهاية ارتفاع الدور الأرضي، كما يتضح بالشكل (٧-٧). أما من جهة الشمال يتم ترك مسافة بين المبنيين قدرها 1.7h، ومع تعديل المسافة ليصل الظل على نهاية ارتفاع الدور الأرضي تبلغ المسافة 1.5h، كما يتضح بالشكل (٧-٨).

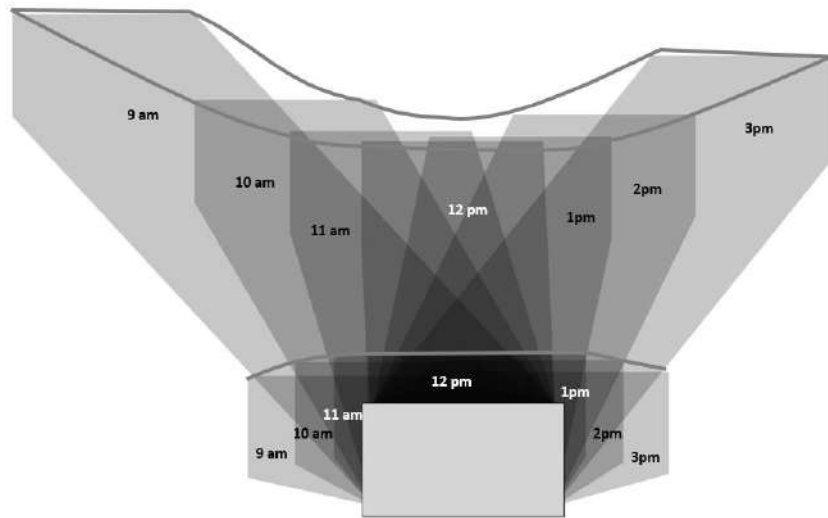
شكل (٧-١)
تحليل ظل المبنى على الأرض في
شهر يناير الممثل لفصل الشتاء
لمحور شرق غرب
المصدر: عمل الباحث



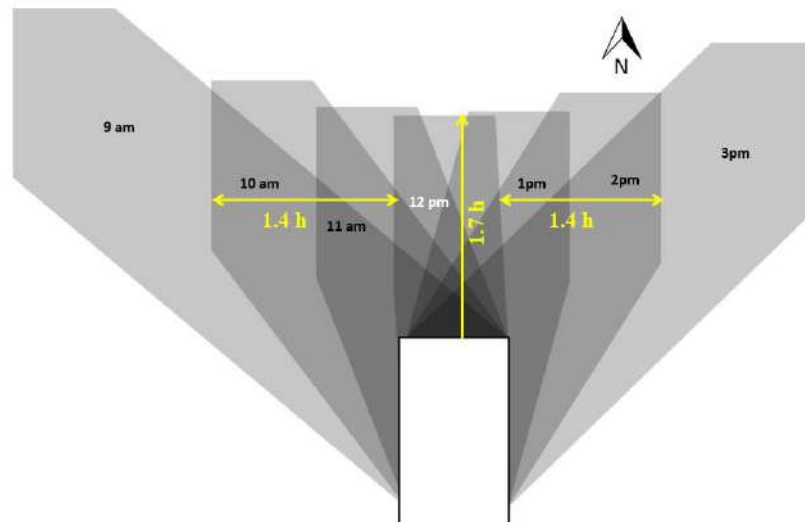
شكل (٧-٢)
تحليل ظل المبنى على الأرض في
شهر يوليو الممثل لفصل الصيف
لمحور شرق غرب
المصدر: عمل الباحث



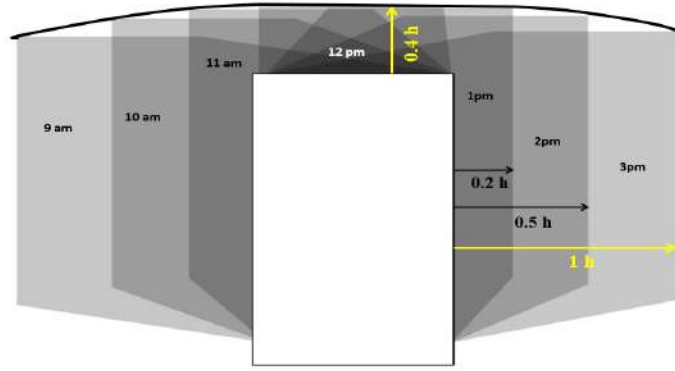
شكل (٧-٣)
تحليل ظل المبنى على الأرض المجمع
للمبنى في فصلي الصيف والشتاء
لمحور شرق غرب
المصدر: عمل الباحث



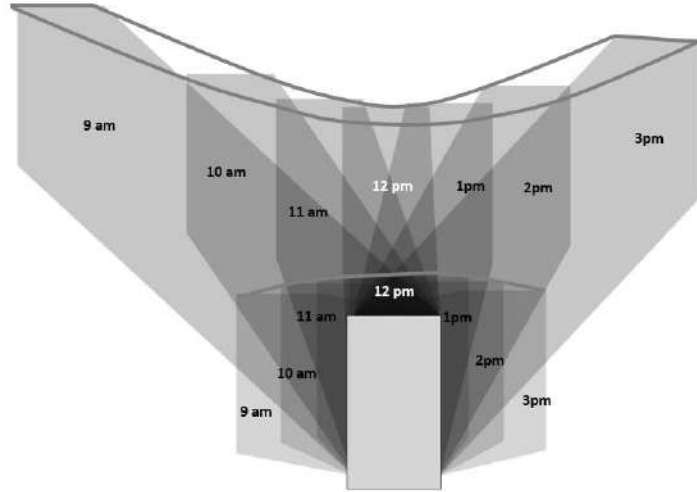
شكل (٧-٤)
تحليل ظل المبنى على الأرض في
شهر يناير الممثل لفصل الشتاء
محور شمال جنوب
المصدر: عمل الباحث



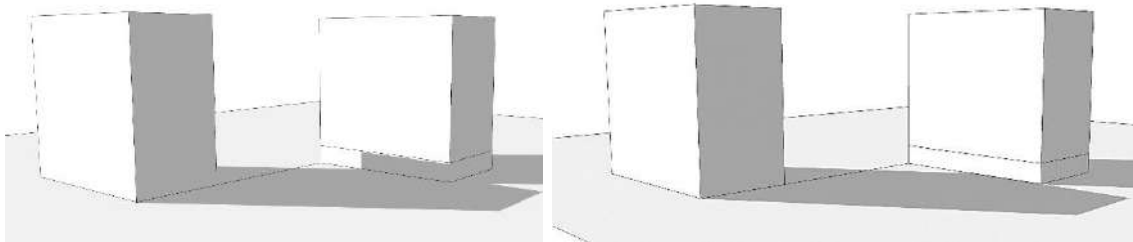
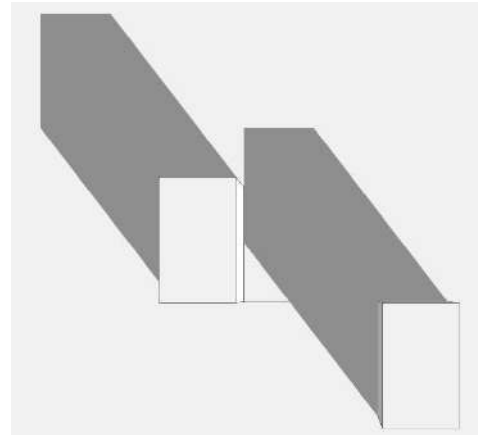
شكل (٥-٧)
تحليل ظل المبنى على الأرض في شهر يوليو الممثل
لفصل الصيف
محور شمال جنوب
المصدر: عمل الباحث



شكل (٦-٧)
تحليل ظل المبنى على الأرض المجمع للمبنى في
فصلي الصيف والشتاء
لمحور شمال جنوب
المصدر: عمل الباحث



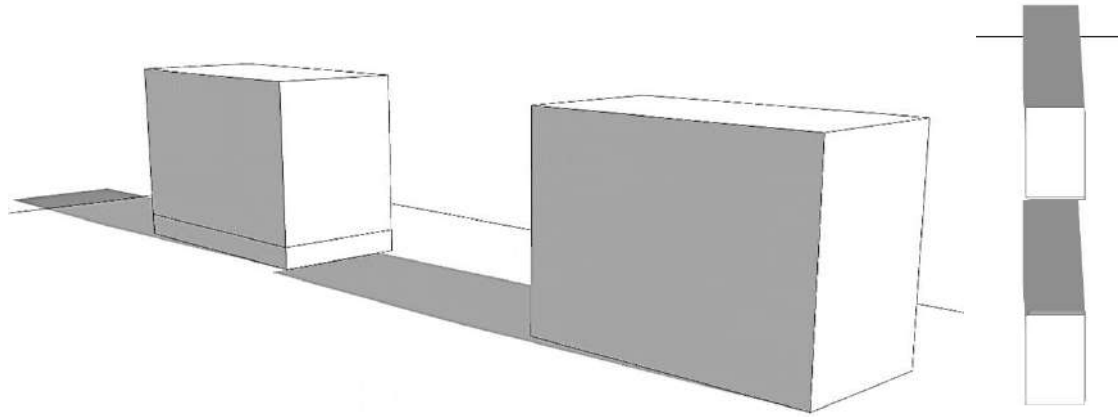
أ- ظل الموقع العام بين المبنىين شتاءً من
جهتي الشرق والغرب



ج- في حالة مسافة الظل بين المبنىين من
جهتي الشرق والغرب 1.2h

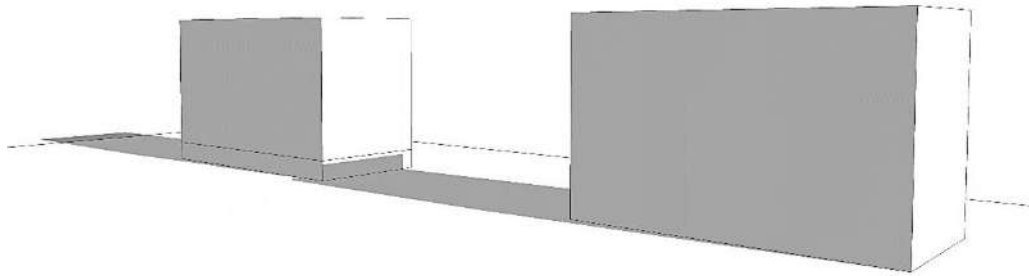
ب- في حالة مسافة الظل بين المبنىين من
جهتي الشرق والغرب 1.4h

شكل (٧-٧) ظل المبنى على الأرض في جهتي الشرق والغرب
المصدر: الباحث



أ- ظل الموقع العام بين المبنيين
شتاءً من جهة الشمال

ب- في حالة مسافة الظل بين المبنيين من جهة الشمال 1.7h



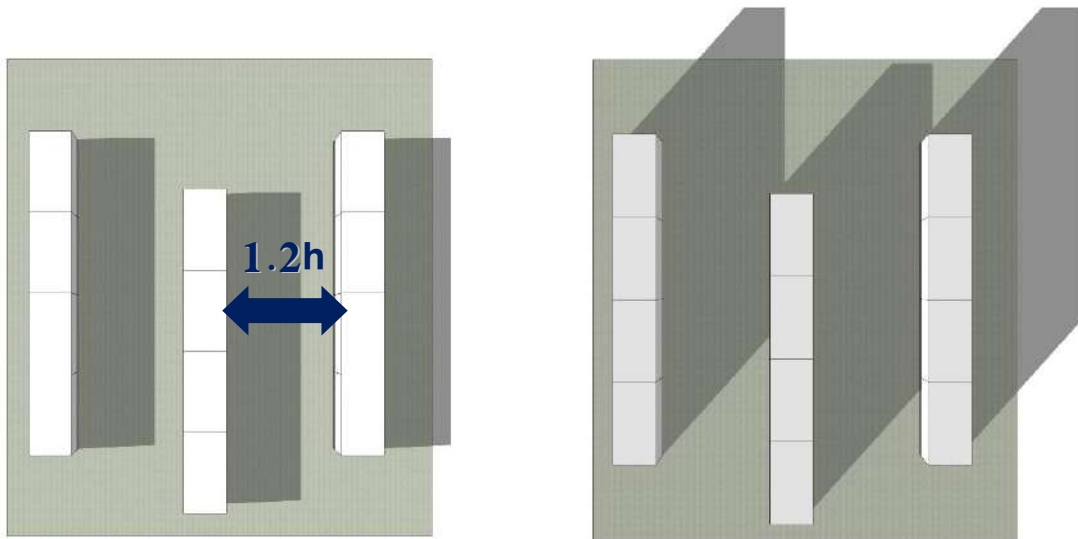
ج- في حالة مسافة الظل بين المبنيين من جهة الشمال 1.5h

شكل (٧-٨) ظل المبنى على الأرض في جهة الشمال

المصدر: الباحث

٧-٢ الأسلوب الأفضل لتجميع الوحدات السكنية

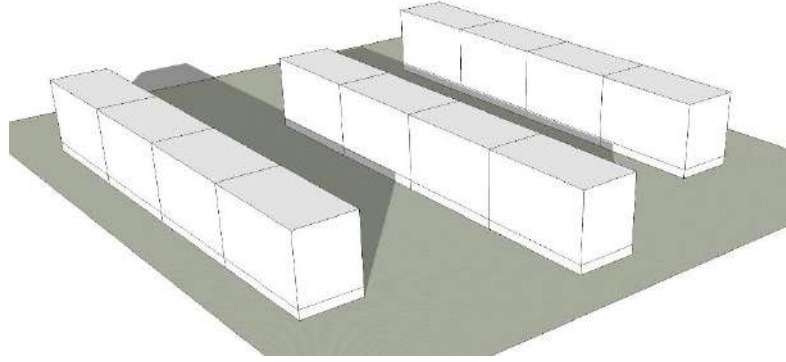
ويتمثل الأسلوب الأفضل لتجميع الوحدات السكنية في محاولة تجميع الوحدات وترك المسافات اللازمة بين المباني وبعضها لتلافي سقوط الظلال على واجهات المباني، مما يعمل على اضعاف الكهرباء الناتجة من النظام المثبت على المباني، ومحاولة عمل مناطق تجمع بين المباني، وذلك من خلال عمل عمليات محاكاة على نماذج افتراضية للأساليب المختلفة لتجميع المباني مع بعضها، كما يتضح بالشكلين (٧-٩) و(٧-١٠).



ب- ظل الموقع العام صيفاً الساعة ٢م

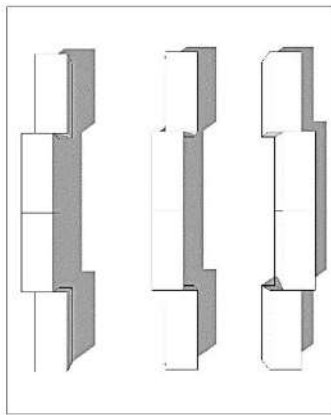
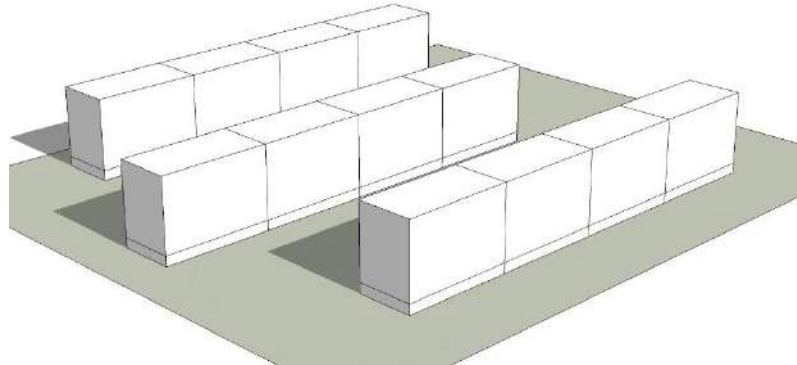
أ- ظل الموقع العام شتاءً الساعة ٢م

ج- توزيع الكتل وأثر الظل شتاءً

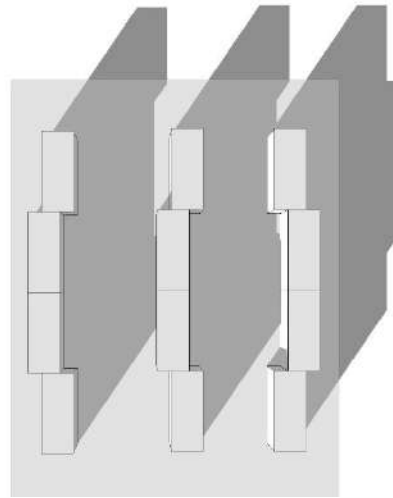


د- توزيع الكتل وأثر الظل صيفاً
شكل (٧-٩)

الأسلوب الأول لتجميع الكتل وأثر
الظلال على النظام
المصدر: الباحث

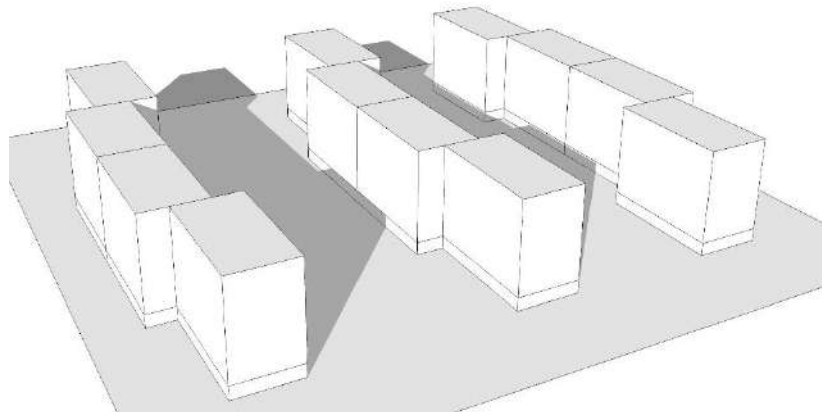


ب- ظل الموقع العام صيفاً الساعة ٢م

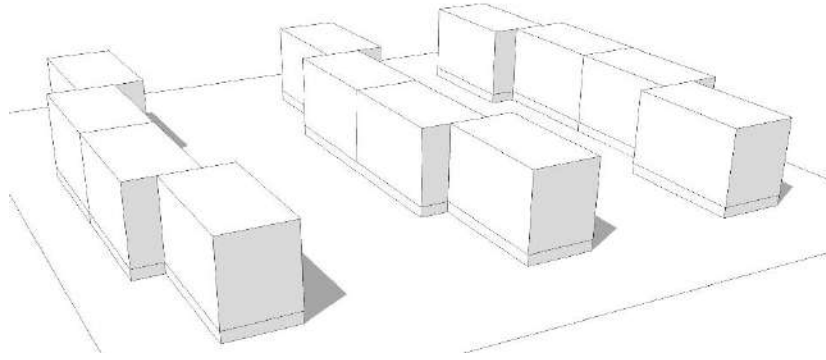


أ- ظل الموقع العام شتاءً الساعة ٢م

ج- توزيع الكتل وأثر الظل شتاءً



د- توزيع الكتل وأثر الظل صيفاً
شكل (٧-١٠)
الأسلوب الثاني لتجميع الكتل وأثر
الظلال على النظام
المصدر: الباحث



وبناءً عليه يتضح مما سبق ما يلي: -

- يتم ترك مسافة بين المبنى والأخر تتراوح من ١,٥ إلى ١,٧ من ارتفاع المبنى من جهة الشمال، ومن جهتي الشرق والغرب تترك مسافة تتراوح من ١,٢ إلى ١,٤ من ارتفاع المبنى، لتلافى سقوط الظلال على واجهات المبنى، مع مراعاة عدم وضع ألواح في الدور الأرضي.
- يراعى أثناء مشروعات تقسيم الأراضي أن تكون المحاور الخاصة لقطع الأراضي السكنية مستطيلة الشكل وموجه شمال جنوب.

ومن خلال ما سبق تم تطبيق النتائج السابقة على نموذج تطبيقي واقعي رقم (٧) والمتمثل في مشروع بيتشو أمريكيان سيتي الكائن بطريق القاهرة السويس بمنطقة زهراء المعادي، وهو النموذج السكني المكون من عمارة سكنية مكونة من ١١ طابق وأرضي، كما يتضح بالشكل (٧-١١)، وتم تعديل طريقة وضع المباني السكنية لتلافى الظلال عند تركيب النظام على النموذج، وتم اختيار هذا النموذج بسبب أن شكل المباني على هيئة مستطيل محوراً شمال جنوب، وأن أسلوب التجميع من خلال واجهتين الشمال والجنوب، تم عمل المحاكاة على جزء من المشروع يتكون من ١٢ عمارة لدراسة الوضع الراهن، وأثر الظلال الملقاة على الواجهات عند تركيب النظام، كما يتضح بالشكل (٧-١٢)، وتم عمل تعديل على الوضع الراهن وترك مسافة ١,٢ من ارتفاع المبنى من جهتي الشرق والغرب لتلافى سقوط الظلال على الواجهات في الفترة من ١٠ صباحاً حتى ٢ مساءً، كما يتضح بالشكل (٧-١٣)، حيث بلغت إجمالي كمية الكهرباء الناتجة من الوضع الراهن ٨٦٣٤٩٦ ك.و.س/سنة، وبلغت إجمالي كمية الكهرباء الناتجة من الوضع بعد التعديل ١٧٣٨ ميجا.و.س/سنة، مما يعني زيادة كمية الكهرباء الضعف بنسبة ١٠١,٣٪، وذلك بسبب زيادة مسطح الواجهات التي تم تثبيت النظام عليها بحيث تكون ٤ واجهات للنموذج بعد التعديل من خلال واجهتي الشرق والغرب لكل ٦ عمارات، كما يتضح بالجدول (٧-١) والشكل (٧-١٤).



أ- الموقع العام للمشروع



ب- منظر عام للمشروع

شكل (٧-١١) مشروع بيتشو أمريكيان سيتي، زهراء المعادي

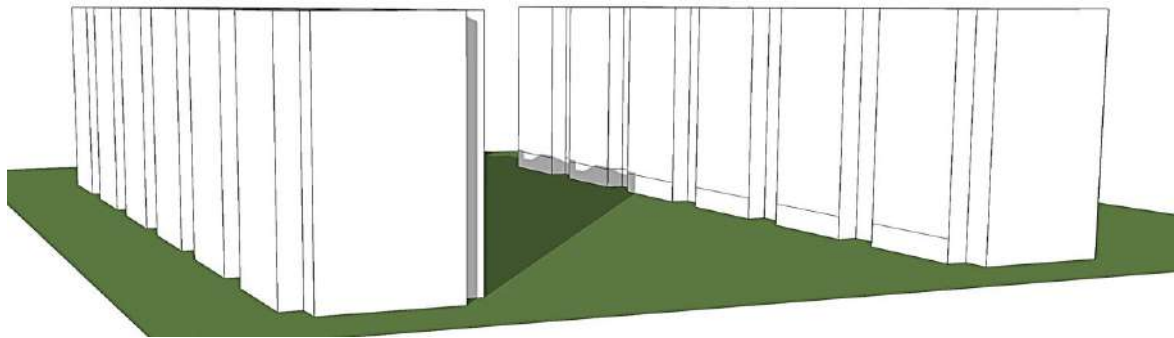
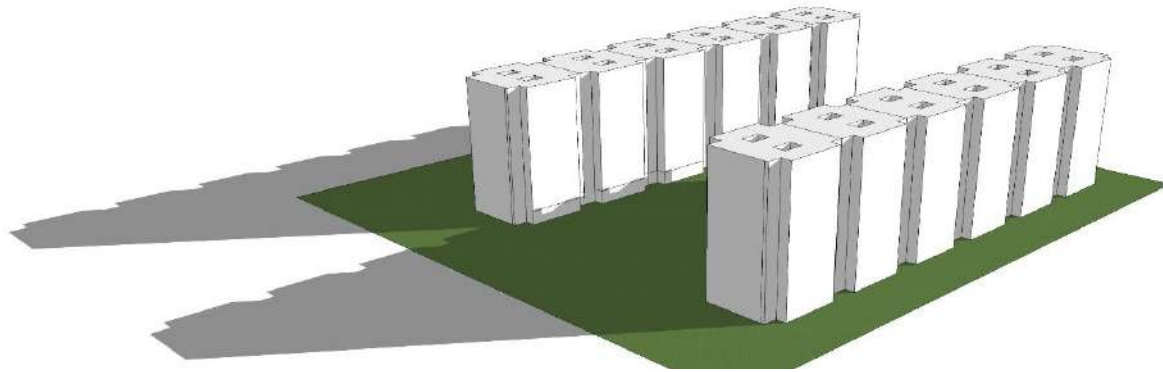
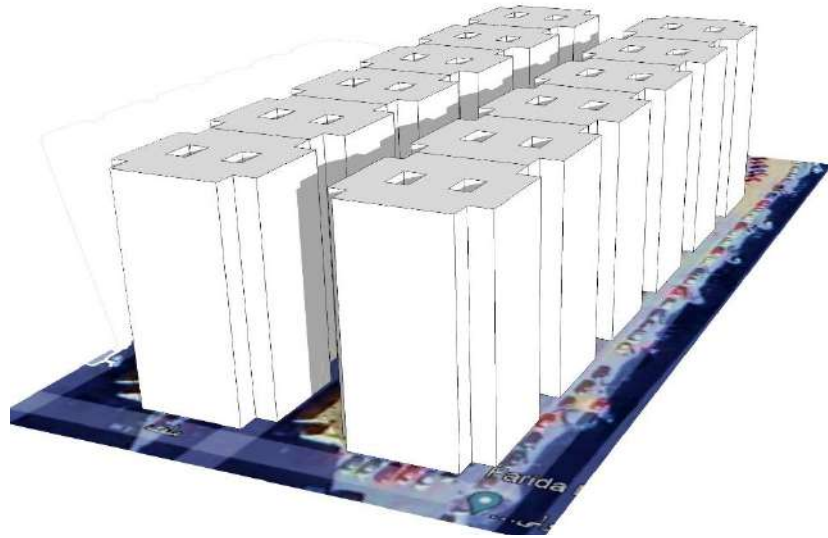


ب- عملية المحاكاة في الوضع الراهن ودراسة
أثر الظلال والمسافة بين المباني لتركيب النظام



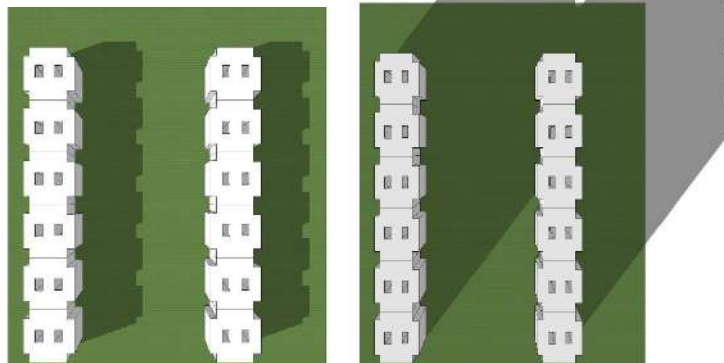
أ- جزء من المشروع في الوضع الراهن
مكون من ١٢ عمارة

ج- لقطة منظورية للوضع
الراهن للنموذج والظل الملقى
على الواجهة الشرقية للعمارات
الداخلية
شكل (٧-١٢)
عملية المحاكاة للمشروع في
الوضع الراهن
المصدر: الباحث



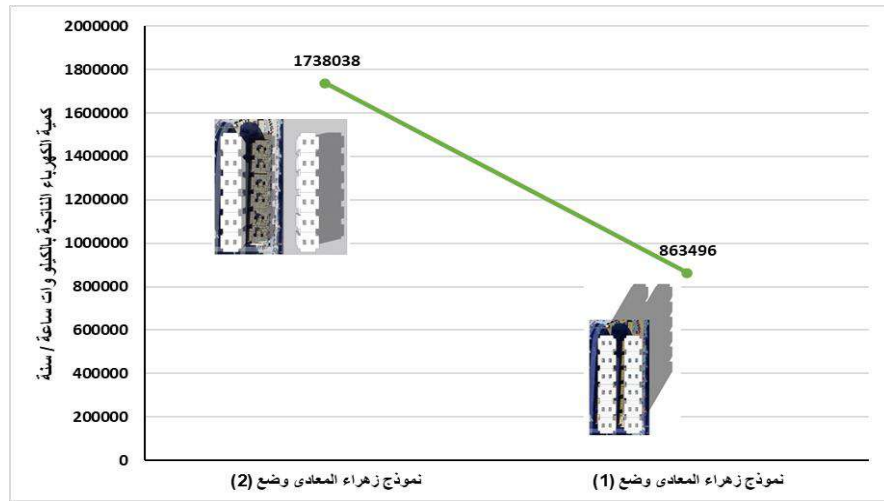
أ- لقطة منظورية لعملية المحاكاة للنموذج بعد التعديل وترك مسافة 1.2h من جهة الشرق والغرب

ب- الموقع العام للنموذج بعد
التعديل صيف وشتاء
شكل (٧-١٣)
عملية المحاكاة للمشروع بعد التعديل
المصدر: الباحث



جدول رقم (٧-١) كمية الكهرباء الناتجة من مشروع بيتشو أمريكيان سيتي للوضعين المختلفين

توزيع الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة		المكان
الوضع (1)	الوضع (2)	
444636	894282	الواجهة الغربية
418860	843756	الواجهة الشرقية
863496	1738038	إجمالي الكهرباء الناتجة ك.و.س/سنة
—	101.3%	النسبة المئوية للزيادة



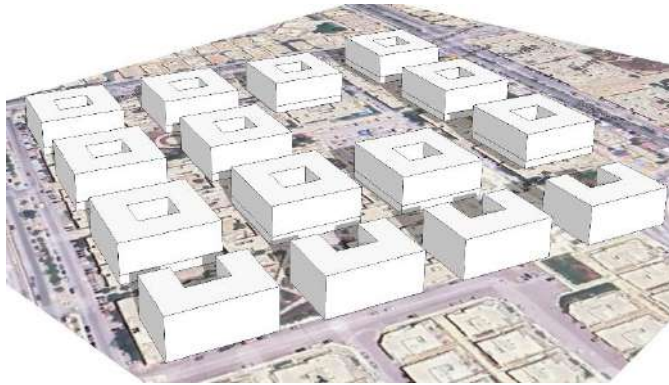
شكل (٧-١٤)
الكهرباء الناتجة من نموذج بيتشو أمريكيان سيتي للوضعين المختلفين نتيجة المسافة المتروكة بين المباني وبعضها
المصدر: الباحث

وبتطبيق المعايير السابق ذكرها في النموذج الواقعي التطبيقي رقم (٦) وهو مشروع مدينة الفردوس السابق ذكره، وتم تعديل طريقة وضع المباني السكنية لتلافي الظلال عند تركيب النظام على النموذج، حيث تم ترك مسافة ١,٢ من ارتفاع المبنى من جهتي الشرق والغرب، وترك مسافة 1.4h من جهة الشمال، لتلافي سقوط الظلال على الواجهات في الفترة من ١٠ صباحاً حتى ٢ مساءً، بحيث تسقط الظلال على نهاية الدور الأرضي وبدون الإخلال بعدد المباني السكنية التي توجد بالموقع العام في الجزء الذي تم عليه عملية المحاكاة، كما يتضح بالشكلين (٧-١٥) و(٧-١٦).



أ- الوضع الراهن لمشروع مدينة الفردوس بعد عملية رفع كتل المشروع

ب- لقطه منظورية للوضع
الراهن لمشروع مدينة الفردوس
بعد عملية رفع كتل المشروع
شكل (٧-١٥)
الوضع الراهن لمشروع مدينة
الفردوس بمدينة ٦ أكتوبر
المصدر: الباحث



شكل (٧-١٦) الوضع بعد التعديل لمشروع مدينة الفردوس بمدينة ٦ أكتوبر
المصدر: الباحث

- ومن خلال ما سبق تتضح النتائج التالية: -
- أ. يتم ترك مسافة بين المبنى والأخر تتراوح من ١,٥ إلى ١,٧ من ارتفاع المبنى من جهة الشمال، ومن جهتي الشرق والغرب تترك مسافة تتراوح من ١,٢ إلى ١,٤ من ارتفاع المبنى، لتلافي سقوط الظلال على واجهات المبنى، مع مراعاة عدم وضع ألواح في الدور الأرضي.
- ب. يراعى أثناء مشروعات تقسيم الأراضي أن تكون المحاور الخاصة لقطع الأراضي السكنية مستطيلة الشكل وموجه شمال جنوب، ويتم تلاصق العمارات من خلال الواجهة الجنوبية والشمالية.
- ج. يصعب تطبيق هذا النظام على العمارات السكنية القائمة، ولكن يمكن تطبيقه بسهولة على المشروعات والمجاورات السكنية الجديدة في المدن الجديدة والامتدادات العمرانية المستحدثة.

الفصل الثامن

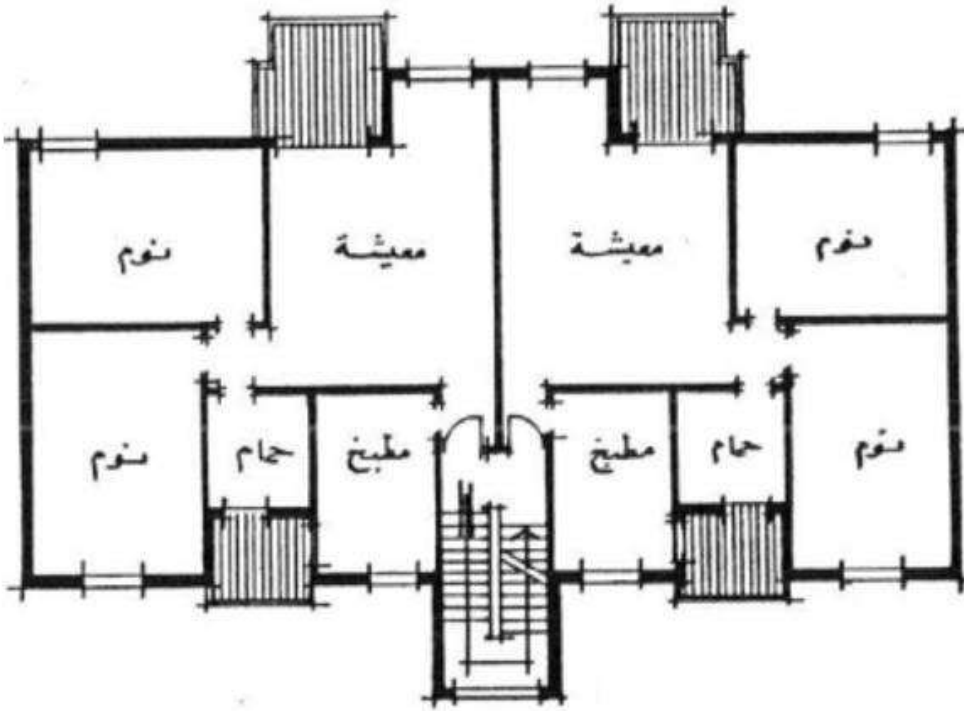
المحددات الاقتصادية

يتمثل الجزء الخامس من الدراسة التطبيقية في دراسة المحددات الاقتصادية لتركيب النظام على المباني السكنية المولدة للطاقة في مصر، من خلال حساب الجدوى الاقتصادية للنظام على نموذج واقعي لمعرفة تكاليف التركيب والعائد الاقتصادي من تركيب النظام على المباني السكنية، من خلال المحددات الاقتصادية المرتبطة بالجدوى الاقتصادية من النظام، وتتمثل هذه المحددات فيما يلي:-

- ١) تكلفة النظام
- ٢) مدة استرداد النظام لقيمته
- ٣) كمية الكهرباء الفائضة من النظام
- ٤) الجدوى الاقتصادية غير المباشرة

٨-١ الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام النظام

لحساب الجدوى الاقتصادية تم اختيار نموذج نمطي لأحدى العمارات السكنية للإسكان الاقتصادي، وهو النموذج التطبيقي (١) السابق ذكره في الفصل الخامس، كما يتضح بالشكل (٨-١)، كما تم حساب تكلفة إنشاء النموذج وفقاً لفئات بنود الأعمال وفقاً للأسعار الواردة بدراسات فروق الأسعار لمركز الاستشارات والبحوث الهندسية التابع لكلية الهندسة - جامعة المنوفية في ديسمبر ٢٠٢٣، كما يتضح بالجدول رقم (٨-١) الخاص بمقاييس الأعمال.



شكل (٨-١) المسقط الأفقي المتكرر للنموذج التطبيقي (١)

المصدر:

نسمات عبد القادر، مدخل وتطبيق في تصميم وتخطيط المناطق السكنية

جدول (٨-١) مقايسة لبنود أعمال النموذج التطبيقي (١) في ديسمبر ٢٠٢٣

مقايسة لبنود أعمال النموذج التطبيقي في ديسمبر 2023					
م	بند الاعمال	الوحدة	الكمية	الفئة بالجنيه	الاجمالي بالجنيه
1- اعمال الحفر والردم					
1-1	حفر للاساسات	م3	570	150	85500
2-1	ردم من ناتج الحفر	م3	725	100	72500
2- اعمال الخرسانات					
1-2	توريد وصب خرسانة عادية لزوم الاساسات	م3	122	1500	183000
2-2	توريد وصب خرسانة مسلحة لزوم القواعد والميدات ورقاب الاعمدة	م3	118	3000	354000
3-2	دكة خرسانية لزوم الارضيات للدور الارضى	م2	284	1500	426000
4-2	توريد وعمل خرسانة خفيفة لزوم ميول السطح	م2	284	350	99400
5-2	توريد وصب خرسانة مسلحة لزوم الاسقف والسلالم	م3	350	4500	1575000
6-2	توريد وصب خرسانة مسلحة لزوم الاعمدة	م3	90	4000	360000
3- اعمال الطبقة العازلة					
1-3	توريد وعمل طبقة عازلة للرطوبة للاسطح	م2	280	200	56000
2-3	عمل طبقة عازلة للحرارة	م2	280	200	56000
3-3	عمل طبقة عازلة للرطوبة لزوم اسطح خرسانة الاساسات المسلحة	م2	1600	650	1040000
4- اعمال المباني					
1-4	عمل مباني طوب لزوم حوائط قصة الردم سمك 25	م3	90	350	31500
2-4	عمل مباني طوب سمك 12 سم	م2	2400	300	720000
3-4	عمل مباني من الطوب الاسمنتي لزوم الحمامات والمطابخ	م2	650	450	292500
5- اعمال البياض					
1-5	عمل بياض تخشين للحوائط الداخلية	م2	3670	80	293600
2-5	عمل بياض فطيسة او طرطشة اسمنتية للواجهات الخارجية	م2	2000	100	200000
3-5	بياض خارجى لزوم حوائط السلالم	م2	240	100	24000
4-5	بياض فطيسة اسمنتية لزوم اسقف السلالم	م2	105	80	8400
5-5	بياض تخشين لزوم دراوى السطح	م2	120	80	9600

تابع جدول (٨-١) مقايسة لبنود أعمال النموذج التطبيقي (١) في ديسمبر ٢٠٢٣

6- اعمال الارضيات					
27000	450	60	م٢	توريد وتركيب ترابيع رخام للمداخل وبسطات السلالم	
69600	600	116	م\ط	توريد وتركيب رخام للقوائم والنوائم لدرج السلم	
22400	80	280	م٢	توريد وتركيب بلاط للاسطح	
98400	80	1230	م٢	توريد وتركيب بلاط للغرف والصالات والمداخل والطرق والبلكونات	
62500	250	250	م٢	توريد وتركيب سيراميك لزوم أرضية الحمامات والمطابخ	
96250	250	385	م٢	توريد وتركيب سيراميك لزوم حوائط الحمامات والمطابخ	
7- اعمال الدهانات					
654000	150	4360	م٢	توريد ودهان لزوم الحوائط الداخلية والاسقف	
117000	150	780	م٢	توريد ودهان لزوم اسقف وحوائط المطابخ والحمامات	
2800	20	140	م٢	توريد ودهان لزوم دراوى السطح	
8- اعمال متنوعة					
2340000	600	3900	بالكجم	توريد وتركيب درابزين للسلالم والشبابيك والبلكونات ودهانهم	
9000	300	30	م٢	توريد وتركيب قرميد للواجهات	
5000	5000	1	بالعدد	توريد وتركيب باب خارجى حديد مشغول	
9- اعمال النجارة					
270000	4500	60	بالعدد	توريد وتركيب نماذج أبواب مختلفة	
392000	3500	112	بالعدد	توريد وتركيب نماذج شبابيك مختلفة	
10- اعمال التركيبات الصحية					
24000	2000	12	بالعدد	توريد وتركيب مرحاض لزوم الحمامات	
12000	1000	12	بالعدد	توريد وتركيب حوض غسيل ايدى لزوم الحمام	
36000	3000	12	بالعدد	توريد وتركيب حوض قدم لزوم الحمام	
2400	200	12	بالعدد	توريد وتركيب سيفون بلاستيك	
30000	2500	12	بالعدد	توريد وتركيب حوض استانلس للمطبخ	
15000	300	50	م\ط	توريد وتركيب مواسير بلاستيك لغرف التفتيش قطر 6 بوصة و 4 بوصة	
5000	250	20			
24000	300	80	م\ط	توريد وتركيب مواسير بلاستيك لزوم أعمدة الصرف 4 بوصة	
20000	250	80			3بوصة
16000	200	80			2بوصة

تابع جدول (٨-١) مقايسة لبنود أعمال النموذج التطبيقي (١) في ديسمبر ٢٠٢٣

2400	400	6	بالعدد	توريد وتركيب جاليتراب من البلاستيك	8-10
7500	2500	3	بالعدد	توريد وانشاء غرفة تفتيش	9-10
400	200	2	بالعدد	توريد وتركيب جرجورى من البلاستيك	10-10
80	80	1	بالعدد	توريد وتركيب محابس تغذية قطر 2 بوصة	11-10
280	70	4		1,5 بوصة	
720	60	12		1 بوصة	
600	50	12		بوصة 3/4	
2500	100	25	م\ط	توريد وتركيب مواسير تغذية قطر 3 بوصة	12-10
4000	80	50		2 بوصة	
1400	70	20		1,5 بوصة	
1200	60	20		1 بوصة	
4000	50	80		بوصة 3/4	
10000	2500	4	بالعدد	توريد وانشاء غرفة بطارية مواسير	13-10
11- الاعمال الكهربائية					
15000	15000	1	بالعدد	توريد وتركيب كوفرية عمومي	1-11
1200	300	4	م\ط	توريد وتركيب ماسورة بلاستيك 4 بوصة لمواسير الكهرباء	2-11
22360	860	26	م\ط	توريد وتركيب العامود الصاعد	3-11
2000	400	5	بالعدد	توريد وتركيب صندوق توزيع بالادوار	4-11
320	320	1	بالعدد	توريد وتركيب لوحة خدمات للانارة	5-11
4800	50	96	م\ط	توريد وتركيب خط تغذية	6-11
3000	250	12	بالعدد	توريد وتركيب كوفرية من الصاج للشقق	7-11
10560	880	12	بالعدد	توريد وتركيب لوحة فرعية للشقق	8-11
16560	230	72	بالعدد	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج انارة	9-11
780	65	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة انارة فرعية	10-11
1050	1050	1	بالعدد	توريد وتركيب دائرة تغذية السلم	11-11
22560	235	96	بالعدد	توريد وتركيب دائرة التغذية ماخذ كهربى او اكثر	12-11
3060	255	12	بالعدد	توريد وتركيب فيش كهرباء	13-11
2040	170	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج جرس	14-11

تابع جدول (٨-١) مقايسة لبنود أعمال النموذج التطبيقي (١) في ديسمبر ٢٠٢٣

15-11	توريد وتركيب دائرة لمخرج تليفون	بالعدد	12	200	2400
16-11	توريد وتركيب صندوق لتغذية مخارج التليفونات	بالعدد	1	1000	1000
17-11	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج انارة على باب الشقة	بالعدد	12	305	3660
18-11	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج اضاءة على الحائط لزوم الحمام	بالعدد	12	115	1380
19-11	توريد وتركيب دائرة انارة مدخل العمارة	بالعدد	1	170	170
20-11	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج انارة سقف التراس	بالعدد	12	230	2760
10389090	الاجمالي				
1660	اجمالي المسطحات السكنية الاجمالية للعمارة (م2)				
6258	تكلفة المتر السكني بالجنيه =				
12- اعمال تركيب نظام BAPV على السطح					
1-12	توريد وتركيب ألواح طاقة شمسية بنظام BAPV على السطح بشكل مائل بزاوية 30 درجة ناحية الجنوب، بحيث تكون ابعاد اللوح المستخدم (1640×992) مم، وبقدرة 250 وات، وكفاءة 16%، والبند يشمل شاسيات التثبيت والاسلاك	م2	120	3800	456000
13- اعمال تركيب نظام BIPV على الواجهات					
1-13	توريد وتركيب ألواح طاقة شمسية بنظام BIPV على الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية، بحيث تكون ابعاد اللوح المستخدم (60×60) سم، وبقدرة 250 وات، وكفاءة 16%، والبند يشمل شاسيات التثبيت والاسلاك	م2	625	5000	3125000
3581000	اجمالي تكلفة تركيب النظام على المبنى				
14	خصم بند البياض الخارجي او طرطشة اسمنتية للواجهات الخارجية و البياض الخارجي لزوم حوائط السلالم	م2	2240	200	224000
13746090	الاجمالي النموذج بعد تركيب النظام				
2157	تكلفة المتر لتركيب النظام				
8416	تكلفة المتر السكني للنموذج بعد تركيب النظام				

٨-١-١ تكلفة النظام

لحساب تكلفة النظام يتضح ما يلي: -

- 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 الألواح على الواجهات ١٥٠ يورو (سعره في ديسمبر ٢٠٢٣ يبلغ 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 الألواح على السطح ٣٨٠٠ جنيه مصري، حيث إن النظام متداول داخل مصر ويوجد العديد من الوكلاء المعتمدين لتركيبه، 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 = ٢٨٨٢ ألف جنيه + ٣٨٠ ألف جنيه = ٣,٢٦٢ مليون جنيه.

لحساب الكهرباء الناتجة عن النظام يتضح ما يلي: -

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

٨-١-٢ مدة استرداد النظام لقيمته

لحساب مدة استرداد النظام لقيمته يتضح ما يلي: -

- 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) (١) = ١٧١١٥٧,٧٦ جنيه.

(١) - وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة. تعريفية التغذية الكهربائية. ٢٠٢٣.

- فترة استرداد النظام لقيمته = إجمالي تكلفة النظام ÷ إجمالي قيمة الكهرباء الناتجة عن النظام في السنة = ٣,٢٦٢ مليون جنيه ÷ ١٧١١٥٧,٧٦ جنيه = ١٩,١ سنة.
- علماً بأنه من المتوقع ارتفاع سعر الكيلو وات ساعة خلال السنوات المقبلة لازدياد تكلفة تشغيل المحطات الحرارية بسبب ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري بأشكاله المختلفة.

٣-١-٨ كمية الكهرباء الفائضة

- لحساب كمية الكهرباء السنوية والفائضة من نموذج الدراسة يتضح ما يلي:
 - كمية الكهرباء السنوية التي يستهلكها نموذج الدراسة = متوسط الاستهلاك الشهري للوحدة السكنية × إجمالي عدد الوحدات في النموذج × ١٢ شهر = ٨٠٠ ك.و.س/شهر (متوسط استهلاك الوحدة السكنية في مصر حسب بيانات وزارة الكهرباء والطاقة^(١)) × ٨ وحدات × 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 يعني أن النظام يمكنه تغطيته استهلاكه وتحقيق وفر من الطاقة يعادل من ٢٥ إلى ٣٠٪ من الكهرباء الناتجة.
 - وتبلغ قيمة هذا الفائض من الكهرباء = كمية الكهرباء الفائضة التي ينتجها النظام في السنة × سعر الكيلو وات ساعة = ٣٠١٧٣,٦ ك.و.س/سنة × ١,٦٠ جنيه = ٤٨٢٧٧,٧٦ جنيه، وهذا المبلغ يعد كافي لإجراء أعمال التأمين والصيانة السنوية الخاصة بالنظام.

بعض المؤشرات الاقتصادية الأخرى: -

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

٤-١-٨ الجدوى الاقتصادية غير المباشرة

- ملامح مؤشرات الجدوى الاقتصادية غير المباشرة:
 - (١) تنبعث من ألواح الطاقة الكهروضوئية أثناء التصنيع انبعاثات كربونية تقدر بنحو من ٤١ إلى ٦٠ جرام لكل كيلو وات ساعة، وهي نسبة منخفضة بالنسبة إلى مصادر الطاقة غير المتجددة^(٢)، وتبلغ البصمة الكربونية

<http://www.nrea.gov.eg/Investors/FeedInTariff>. at 23-12-2023. at 7:45 Pm.

(١) - وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة. نصيب الفرد من الكهرباء. ٢٠٢٣.

http://www.moee.gov.eg/english_new/ST_consumption.aspx. at 28-12-2023. at 12:05 Pm.

- Total electricity generation per person. Our World in Data.org/energy . 2023.

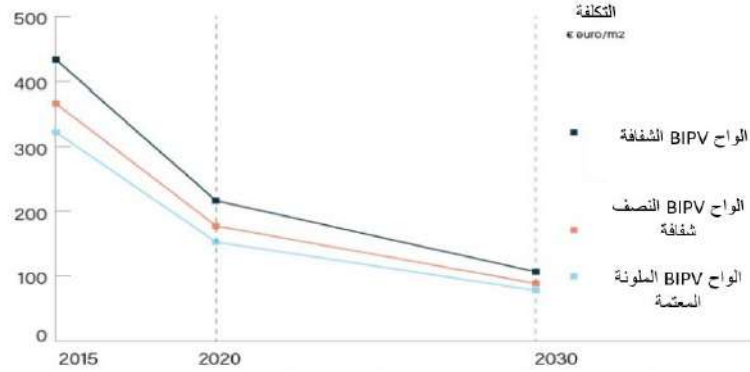
<https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-electricity-generation?tab=chart&country=~EGY>. at 28-12-2023. at 12:05 Pm.

(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. at 28-12-2023. at 3:05 Pm.

للألواح الكهروضوئية في المباني السكنية بنحو ٤١ جرام لكل كيلو وات ساعة^(١)، حيث تبلغ البصمة الكربونية للغاز الطبيعي نحو ٤٩٠ جرام لكل كيلو وات ساعة، وتبلغ البصمة الكربونية للفحم نحو ٩٧٠ جرام لكل كيلو وات ساعة. (٢) 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 ٤٠٠ يورو عام ٢٠١٥ إلى ١٨٠ يورو عام ٢٠٢٢، ومن المتوقع أن يصل إلى ١٠٠ يورو عام ٢٠٣٠، كما يتضح بالشكل (٢-٨).

شكل (٢-٨)
تطور سعر المتر المربع من ألواح BIPV
منذ عام ٢٠١٥ حتى عام ٢٠٣٠
المصدر:
BIPVBOOST Cost-reduction
roadmap for the European
BIPV sector. October 2020



ومن خلال ما سبق تتضح النتائج التالية: -

- أ. 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.
- ب. بلغت تكلفة النظام للمتر السكني المبني ٣٣٤٢,٢١ جنيه/م^٢ وهو ما يعادل حوالي ٣٠٪ من إجمالي تكلفة تنفيذ المتر المسطح من المباني السكنية في مصر شامل التشغيل في ديسمبر ٢٠٢٣، حيث يتراوح سعر تكلفة المتر المسطح من المباني السكنية شامل التشغيل 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.
- ج. 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.
- د. من المنطقي أن الكهرباء الناتجة عن النظام سيتم توصيلها مباشرة للشبكة، وسيتم حساب استهلاك شاغلي الوحدات السكنية من خلال النظام المتبع لشركات الكهرباء، لأن الكهرباء الناتجة عن النظام ستكون ملك الشركة وليست ملك المبنى.
- هـ. من الأوقع العودة إلى سياسة تأجير الوحدات السكنية بما يضمن إدارة وصيانة جيدة للمبنى السكني بما يشمله من نظام توليد الكهرباء، وبما يضمن الحفاظ عليه، وبما يحافظ على أصول الدولة واستثمارات الجمهور.

(1) – Wignes, s. What is the Carbon Footprint of Solar Panels? at 31-8-2023.

<https://www.solar.com/learn/what-is-the-carbon-footprint-of-solar-panels/>. at 28-12-2023. at 2:37 Pm.

الفصل التاسع

النتائج والتوصيات

يناقش الفصل النتائج المستخلصة من الدراسة التطبيقية التي أجريت في الفصول من الفصل الرابع حتى الفصل الثامن، وقد توصلت الدراسة إلى 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 الأسئلة البحثية.

٩-١ النتائج

تمثلت أهم تلك النتائج في إطار معرفة المحددات التصميمية والتعبيرية والموقع العام والاقتصادية التي تحكم استخدام نظام BIPV في مصر، وتتمثل هذه النتائج فيما يلي: -

٩-١-١ نتائج المحددات التصميمية

- ١) يتم تثبيت النظام على المبنى السكنى في مصر من خلال تركيب نظام BAPV بزاوية ميل ٣٠ درجة ناحية الجنوب على السطح، ويتم تثبيت ألواح نظام BIPV على الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية فقط.
- ٢) يعتبر أفضل ارتفاع لدروة السطح تكون ٢م.
- ٣) يتراوح أنسب ارتفاع للدور يتراوح من ٣ إلى ٤م.
- ٤) لا يقل عدد الأدوار للمبنى المستخدم النظام عن ٣ أدوار، ويفضل استخدام النظام مع الأبراج السكنية المرتفعة ذات الطوابق التي تصل إلى ٢٠ دور أو أكثر.
- ٥) ينصح بمحاولة تقليل مسطح الفتحات قدر الإمكان في الواجهات الجنوبية والغربية والشرقية، وترك الحرية للمعماري في الواجهة الشمالية نحو اختيار مسطح الفتحات الملائم للتصميم.
- ٦) يفضل أن يكون المسقط الأفقي للعمارة السكنية على شكل مستطيل محوره شمال جنوب أي أن الضلعين الكبيرين يكونا في اتجاه الشرق والغرب.
- ٧) لا يتم تثبيت ألواح BIPV في الدور الأرضي، حتى لا يكون عرضه للتلف أو الكسر من قبل المشاة.
- ٨) يعتبر مقياس الألواح الشمسية عنصراً أساسياً عند تصميم موديول الواجهة، وبالتالي يجب اختيار مقياس الألواح المناسب، مع تحديد أماكن ومقياس الفتحات وفقاً لهذا الموديول، كما يجب أن يتم تحديد هذا الموديول في وقت مبكر من تصميم المبنى، حتى يتفق مع الموديول الإنشائي.

٩-١-٢ نتائج المحددات التعبيرية

- تتمثل أهم نتائج المحددات التعبيرية عند استخدام نظام BIPV في مصر فيما يلي: -
- ١) 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 الألواح 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 تشكلياً، إلا إنها لا تتفق مع الناحية الوظيفية لطبيعة الألواح الشمسية.
- (٢) يمكن استخدام التراسات والبروزات في الواجهة الشمالية، ولا يفضل عمل تراسات أو بروزات في الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية.
- (٣) يفضل أن تكون الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية ذات تعبير معماري أملس.
- (٤) يفضل عدم استخدام الأشكال والكتل المعقدة في الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية.
- (٥) يفضل استخدام الكتل البسيطة الواضحة، مثل الشكل المستطيل أو المربع أو حتى الدائري أو U-Shape، ولكن يفضل أن يكون حرف U موجه ناحية الشمال، للاستفادة من الثلاث أضلاع الأخرى له في إنتاج الكهرباء واستخدام النظام.

٩-١-٣ نتائج محددات الموقع العام

- تتمثل أهم نتائج محددات الموقع العام عند استخدام نظام BIPV في مصر فيما يلي :-
- (١) يجب ترك مسافة بين المبنى والآخر تتراوح من ١,٥ إلى ١,٧ من ارتفاع المبنى من جهة الشمال، ومسافة تتراوح من ١,٢ إلى ١,٤ من ارتفاع المبنى من جهتي الشرق والغرب، لتلافى سقوط الظلال على واجهات المبنى.
- (٢) يراعى أثناء مشروعات تقسيم الأراضي أن تكون المحاور الخاصة لقطع الأراضي السكنية مستطيلة الشكل، وموجه في محور شمال جنوب، ويمكن تلاصق العمارات من خلال الواجهة الجنوبية والشمالية.
- (٣) يصعب تطبيق هذا النظام على العمارات السكنية القائمة، ولكن يمكن تطبيقه بسهولة على المشروعات والمجاورات السكنية الجديدة في المدن الجديدة والامتدادات العمرانية المستحدثة.

٩-١-٤ نتائج المحددات الاقتصادية

- تتمثل أهم نتائج المحددات الاقتصادية عند استخدام نظام BIPV في مصر فيما يلي :-
- (١) يعتبر النظام ناجح اقتصادياً بدرجة كبيرة، حيث إنه يسترد تكلفته بعد ١٩ سنة في حين أن عمر النظام يصل إلى ٣٠ سنة.
- (٢) تراوحت تكلفة النظام للمتر السكنى المبنى من ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ جنيه/م^٢، وهو ما يعادل حوالي ٣٠٪ من إجمالي تكلفة تنفيذ المتر المسطح من المباني السكنية في مصر شامل التشطيب في ديسمبر ٢٠٢٣، وهو ما يعد نسبة جيدة في إطار توفير طاقة مستدامة.
- (٣) من المنطقي أن الكهرباء الناتجة عن النظام سيتم توصيلها مباشرة للشبكة، وسيتم حساب استهلاك شاغلي الوحدات السكنية من خلال النظام المتبع لشركات الكهرباء، لأن الكهرباء الناتجة عن النظام ستكون ملك الشركة وليست ملك المبنى.
- (٤) 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 الطاقة من خلال محطات الهيدروجين الأخضر، أو بيعها لشبكات أخرى من خلال مشروعات الربط الكهربائي.
- (٥) من الأوقع العودة إلى سياسة تأجير الوحدات السكنية بما يضمن إدارة وصيانة جيدة للمبنى السكنى بما يشمل من نظام توليد الكهرباء، وبما يضمن الحفاظ عليه، وبما يحافظ على أصول الدولة واستثمارات الجمهور.

٩-٢ ملامح سياسة الإسكان الجديدة

في إطار النتائج السابقة يمكن صياغة الخطوط العريضة، لملامح إسكان جديدة يمكن تطبيقها في المجاورات السكنية بمدن الجيل الخامس التي تقوم الدولة حالياً بتنفيذها، على سبيل المثال: العاصمة الإدارية الجديدة، ومدينة السادس من أكتوبر الجديدة، والعلمين الجديدة، ومدينة الجلالة، ومدينة المنصورة الجديدة، وتتمثل أهم هذه الملامح فيما يلي:-

- (١) الاعتماد بصورة رئيسية على نظام BIPV في واجهات المباني السكنية.
- (٢) تطبيق الاشتراطات البنائية السابق ذكرها في نتائج البحث، وعلى الأخص نتائج المحددات التصميمية والتعبيرية والموقع العام.
- (٣) قد يكون من الأوقع بدء تطبيق النظام بشكل تتبناه الدولة، مما يساعد على انتشاره، ومن ثم يمكن تشجيع شركات القطاع الخاص 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.
- (٤) من الضروري العودة إلى سياسة تأجير الوحدات السكنية، بما يضمن إدارة وصيانة جيدة للمبنى السكني بما يشمله من نظام توليد الكهرباء، وبما يضمن الحفاظ عليه، وبما يحافظ على أصول الدولة واستثمارات الجمهور.
- (٥) يمكن أن يتضمن المبنى السكني بالإضافة إلى نظام BIPV أنظمة تسخين المياه بواسطة الإشعاع الحراري المباشر، من خلال تثبيتها على أسطح المباني السكنية، مما يساهم في تخفيف استهلاك الكهرباء من الوحدات السكنية، ويمكن وضعها على أسطح غرف المصاعد وشخشيخة السلم.
- (٦) ضرورة أن يتولى إدارة المجاورة السكنية شركة متخصصة، تتولى أعمال النظافة والصيانة والأمن وتحصيل الإيجارات الشهرية للوحدات السكنية، ويكون لديها الصلاحيات لتوقيع العقوبات المناسبة على المخالفين في حالة الإضرار بسلامة المجاورة، وسلامة الألواح المثبتة على غلاف المبنى، من خلال وضع مجموعة من الاشتراطات لشاغلي الوحدات السكنية، بما يضمن الحفاظ على سلامة الألواح من التلف، على سبيل المثال من خلال منع تجفيف الملابس إلا في أماكن محددة ومخصصة لذلك، ومنع تركيب أي لافتات إعلانية، ومنع تركيب أي أطباق لاستقبال الأقمار الصناعية (الذش)، بما يضمن سلامة الألواح، مع تطبيق عقوبات لمن يخالف ذلك، من خلال إدارة الشؤون القانونية التابعة لوزارة الإسكان.

٩-٣ 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: -

- بالنسبة لبنك الاستثمار القومي: يوصى بعمل 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.
- 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.
- بالنسبة لوزارة الصناعة: يوصى بتدعيم 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.
- بالنسبة لنقابة المهندسين وجمعية المهندسين المصرية: يوصى بتوفير برامج لتدريب المماريين والإنشائيين والمقاولين للتعرف على كيفية استخدام نظام BIPV، وذلك بالتعاون من المتخصصين في المجال.
- بالنسبة لمركز بحوث البناء والإسكان: يوصى البحث بتوجيه البحث العلمي المعماري في إطار ما يلي: (أ) دراسة المحددات التخطيطية لتجميع الوحدات السكنية بشكل يساعد على تلافي 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.
- بالنسبة لأقسام العمارة بالجامعات المصرية: يوصى البحث بتوجيه البحث العلمي المستقبلي في المسارات السابق ذكرها، مع إعادة تخطيط مقررات نظريات العمارة والتصميم المعماري والتصميمات التنفيذية، وخاصة في السنوات الدراسية المتقدمة، لاستيعاب فكرة استخدام نظام BIPV ضمن مشروعات الطلبة، لتدريبهم على كيفية التعامل مع النظام مستقبلاً، فضلاً عن إنشاء البرامج البنائية بين أقسام العمارة والكهرباء للتوسع في دراسة النظام.

١٠- قائمة المراجع

١٠-١ قائمة المصادر العربية للشبكة الدولية للمعلومات

١. اقتصاد الشرق. الحرب الروسية الأوكرانية وأزمة الطاقة. ٢٠٢٢.
<https://www.asharqbusiness.com/> at 11-3-2022. at 2:10 pm.
٢. التقرير السنوي هيئة الطاقة الجديدة والمتجددة مصر. ٢٠٢١.
[http://nrea.gov.eg/Content/reports/Annual%20Report%202021\(En\).pdf](http://nrea.gov.eg/Content/reports/Annual%20Report%202021(En).pdf). at 29-5-2023.
at 11:30 Pm.
٣. الجهاز المركزي للتعبئة العامة والاحصاء. ٢٠٢٢.
at 12-4-2023, at 4:00 pm. <https://www.capmas.gov.eg>
٤. جريدة الأهرام. السادات يحول قيمة جائزة نوبل لإعادة تعمير قرية ميت أبو الكوم. ١٤-١٢-١٩٧٨.
https://anwarsadat.org/site/project_img/pdf/16777.pdf. at 6-5-2023
٥. حنا ندروس. الطاقة الحرارية الجوفية. موقع سولارابيك. ١٢-٥-٢٠١٩.
<https://solarabic.com/learn/2019/05/geothermal-energy-explained/>. at 19-1-2023, at
3:00 pm.
٦. حنا ندروس. تنظيف الألواح الشمسية الكهروضوئية. موقع سولارابيك. ٢٠-٤-٢٠١٩.
<https://solarabic.com/learn/2019/04/solar-pv-panels-cleaning/>. at 12:30. at 19-7-2022.
٧. رويترز. الأمم المتحدة تطرح ٥ سيناريوهات لمستقبل المناخ في العالم، ٢٠٢١.
https://www.asharqbusiness.com/news_source/4. الأمم-المتحدة-تطرح-٥-سيناريوهات-لمستقبل-المناخ-
العالم-في-15-8-2021. 3:20 pm.
٨. رويترز. اندثار حضارة المايا، ٢٠٢١.
<https://www.dw.com/ar/>. هل-ساهم-تغير-المناخ-في-اندثار-حضارة-المايا. at 15-8-2021. at 8:00 pm.
٩. ستيوارت براون. أوروبا تحترق. ٢٠٢١.
أوروبا-تحترق-لماذا-تسارعت-وتيرة-حرائق-الغابات-الدمدمية/58811302 <https://www.dw.com/ar> a-58811302. at 15-8-2021. at 7:35 pm.
١٠. مات ماجراث. التغير المناخي، اخبار بي بي سي. ٢٠٢١.
<https://www.bbc.com/arabic/science-and-tech-58091795>. at 15-8-2021. at 7:35 pm.
١١. موقع "سي أن أن" بالعربية. ما هو "نورد ستريم ٢" وما علاقته بالأزمة بين روسيا وأوكرانيا وتأثيره على ألمانيا؟ ٩-٢-٢٠٢٢.
<https://arabic.cnn.com/business/article/2022/02/09/nord-stream-2-germany-russia-ukraine>
.at 29-5-2023. at 2:05 pm.
١٢. نوماد حلول الطاقة الشمسية. تقرير التقنيات.
http://www.nomaddesertsolar.com/uploads/2/5/0/5/25058056/nomadd_datasheet.pdf.
at 1:15. at 19-7-2022.

١٣. نومات حلول الطاقة الشمسية.
<https://www.nomaddesertsolar.com/about.html>. at 1:35. at 19-7-2022.
١٤. وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة. تعريف التغذية الكهربائية. ٢٠٢٣.
<http://www.nrea.gov.eg/Investors/FeedInTariff>. at 23-12-2023. at 7:45 Pm.
١٥. وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة. نصيب الفرد من الكهرباء. ٢٠٢٣.
http://www.moee.gov.eg/english_new/ST_consumption.aspx. at 28-12-2023. at 12:05 Pm.

١-٢ قائمة المراجع العربية

١. إبراهيم أحمد صقر. الطاقة الشمسية. الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة. ١٩٨٧، ص ٩٦-٧٠.
٢. إتيكين دونالد. التحول الى مستقبل الطاقة المتجددة. المنظمة الدولية للطاقة الشمسية، ترجمة هشام العجموي، ٢٠٠٥.
٣. اسلام أحمد مدحت. الطاقة ومصادرها المختلفة. مركز الاهرام للترجمة والنشر، القاهرة. ١٩٨٨، ص ١١.
٤. زينب زعزوع. دور الطاقة المتجددة في تحقيق التنمية المستدامة والمعوقات التي تواجهها (دراسة ميدانية بالتطبيق على وزارتي الكهرباء والبتترول في مصر ٢٠٣٠). المجلد الحادي والعشرين، العدد الاول، يناير ٢٠٢٠.
٥. سيدة أبو زيد، وآخرون. تاريخ استخدام الطاقة الشمسية في العالم وفي مصر بصفة خاصة: دراسة تاريخية على مجالات الطاقة المتجددة. مجلة معهد الدراسات والبحوث البيئية، جامعة السادات. ٢٠١٩. ص ٥٣٢-٥٤٧.
٦. صلاح الدين إيهاب. الطاقة وتحديات المستقبل. المكتبة الأكاديمية، الطبعة الأولى، ١٩٩٥.
٧. عبد الله حسين. اقتصاديات الطاقة في مصر. اكااديمية البحث العلمي والتكنولوجيا، مجلس بحوث العلوم الاقتصادية، القاهرة، ١٩٩٢ م. ص ١٣٦.
٨. قانون البناء الموحد رقم ١١٩ لسنة ٢٠٠٨ ولوائحه التنفيذية الصادرة بقرار وزير الإسكان والمرافق والتنمية العمرانية رقم ١٤٤ لسنة ٢٠٠٩ والقوانين والقرارات المتعلقة. المطابع الاميرية، الطبعة العاشرة، ٢٠١٣، ص ١٤٠.
٩. كاميليا محمد. الطاقة الكهروشمسية. مراجعة محمد السبكي، دار الكتب والوثائق القومية، القاهرة. ٢٠١٦. ص ٢٨.
١٠. اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا إسكوا. "إمكانات وآفاق توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة في دول الإسكوا: الجزء الثاني، النظم الشمسية الحرارية"، الأمم المتحدة، ٢٠٠١.
١١. ماجد أبو النجا الشراوي. الابعاد الاقتصادية لاستخدامات الطاقة الشمسية في جمهورية مصر العربية. الجمعية المصرية للاقتصاد السياسي والاحصاء والتشريع. مج ١٠٣، ع ٥٠٤. ص ٨٥-١٦٢. اكتوبر، ٢٠١١.
١٢. محمد الخطيب. دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة والتشكيل المعماري للمباني السكنية في قطاع غزة. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الهندسة، الجامعة الإسلامية، غزة، ٢٠١٥.
١٣. محمد الخياط. الرئيس التنفيذي لهيئة الطاقة الجديدة والمتجددة. جريدة الاهرام، ٢٠٢٢.
١٤. محمد محفوظ. محمد بن يسلم. الإشعاع الشمسي. مجلة العلوم والتقنية، ١٩٩٦. العدد ٣٤.
١٥. محمد محمود عمار. الطاقة مصادرها واقتصادياتها. مكتبة النهضة المصرية، الطبعة الثانية، القاهرة، ١٩٨٩. ص ١١٠.
١٦. محمد مصطفى الخياط، ماجد كرم الدين. الطاقة المتجددة الحاضر ومسارات المستقبل. ورشة عمل عن أنواع الطاقة المتجددة، برعاية مؤسسة هانس زايدال الالمانية، القاهرة. اغسطس، ٢٠٠٧.
١٧. مصطفى منير محمود. آليات تفعيل تطبيقات استخدام الطاقة الشمسية في إيجاد تنمية حضرية مستدامة. كلية التخطيط العمراني، جامعة القاهرة. ٢٠١٤.

١٨. معهد فراونهوفر لأنظمة الطاقة الشمسية. تكلفة الكهرباء من تكنولوجيا الطاقة المتجددة في مصر. ديسمبر، ٢٠١٦.
١٩. نسمات عبد القادر وآخرون. مدخل وتطبيق في تصميم وتخطيط المناطق السكنية. دار نشر العربي، الطبعة الثانية، القاهرة، ١٩٨٨. ص ١٥.

١٠-٣ قائمة المراجع الإنجليزية

1. "4 Times Square Building – Integrated Photovoltaic System" Kiss + Cath cart. Archived on 18-8-2016.
2. "Bell Telephone Laboratories". American Institute of Physics. June 9, 2019.
3. "Sun house at Dover, Mass., passes second successful winter without fuel bill," Heating & Ventilating 47 (July 1950): 95.
4. Agathokleous, R. Kalogirou, S. Part I: Thermal analysis of naturally ventilated BIPV system: Experimental investigation and convective heat transfer coefficients estimation. Solar Energy 169 (2018) 673–681. www.elsevier.com/locate/solener
5. Airis Solutions. Solar Panels Dimensions. <https://airisenergy.us/solar-panels-dimensions/>. Accessed June 21, 2023, 13:10.
6. Basnet A. Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal Collector Systems into buildings. 2012.
7. Biogradlija, A. Biggest green hydrogen projects in Africa. H2 energy news, 8 March, 2022. <https://energynews.biz/biggest-green-hydrogen-projects-in-africa/>. Accessed June 17, 2022, 1:00.
8. Bolt, O. Amorphous Solar Panels Advantages and Disadvantages. Energy Theory. 6 February 2023. <https://energytheory.com/3-amorphous-solar-panels-advantages-and-disadvantages/>. Accessed June 21, 2023, 15:30.
9. Brigham, K. Why solar electric vehicles might be the next generation of EVs. CNBC, at 22-11-2022. <https://www.cnbc.com/2022/11/22/how-sono-aptera-and-lightyear-are-making-solar-powered-evs-a-reality.html>. Accessed May 28, 2023, 15:30.
10. Building integrated photovoltaics: A practical handbook for solar buildings' stakeholders. Becquerel institute Report 2020.
11. Burgess, D. building-integrated photovoltaics. The encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/building-integrated-photovoltaics>. Accessed June 21, 2023, 23:10.
12. Chen, J. Physics of Solar Energy book. July 2011. Willy Publisher. <https://www.wiley.com/en-in/Physics+of+Solar+Energy-p-9780470647806>. Accessed April 12, 2023, 16:30.
13. Clua Longas, A. et al. Towards Advanced Active Façades: Analysis of façade requirements and development of an innovative construction system. In Proceedings of the PLEA 2017, Edinburgh, UK, 3–5 July 2017; Volume 1, pp. 192–199.
14. Nishinaga, T. Handbook of Crystal Growth: Fundamentals (Second ed.). Amsterdam, the Netherlands: Elsevier B.V. 2015. p. 21. ISBN 978-0-444-56369-9.
15. Noack, C. Carbon-Neutral Blue Hydrogen Can Be More Than a Bridge in a Transformed Hydrogen Economy. By Power, 3 May 2021. <https://www.powermag.com/carbon-neutral-blue-hydrogen-can-be-more-than-a-bridge-in-a-transformed-hydrogen-economy/>. Accessed April 13, 2023, 14:30.
16. Ogunkeye, O. The advent of Building Integrated Photovoltaic– BIPV and Building Applied Photovoltaic- (BAPV) as standalone off grid clean energy source in Nigeria. 2017.
17. Oliver J. Thatcher, ed., The Library of Original Sources, vol. 3: The Roman World Milwaukee: University Research Extension Co. 1907. 100, 103-9.

18. Onyex Solar. Photovoltaic Glass for Building. 2020. <https://onyxsolar.com/bejar-market>. Accessed June 19, 2023, 20:20.
19. Patlitzianas K. D. Solar energy in Egypt: Significant business opportunities. In: Renewable energy 2011,36:2305-2311.
20. Peharz, G. Ulm, A. "Quantifying the influence of colors on the performance of c-Si photovoltaic devices", Renewable Energy. 2018, 129, 299-308; doi: 10.1016/j.renene.2018.05.068.
21. Pérez-Lombard, L. Ortiz, J and Pout, C. "A review on buildings energy consumption information," Energy Build., vol. 40, pp. 394–398, 2008.
22. Photonics Dictionary. Photovoltaic cell. https://www.photonics.com/EDU/photovoltaic_cell/d6199. Accessed July 3, 2022, 24:45.
23. Photovoltaic systems for facades and roofs. Nice solar energy, Germany.2019.
24. Pifre, A. Ericsson, J. Land Art Generator, Solar Power. The 19th CENTURY SOLAR ENGINES OF AUGUSTIN MOUCHOT. at 29-2-2012. <https://landartgenerator.org/blagi/archives/2004>. Accessed July 3, 2022, 24:15.
25. Reese, M. Cadmium Telluride Solar Cells. National Renewable Energy Laboratory (NREL). <https://www.nrel.gov/pv/cadmium-telluride-solar-cells.html>. Accessed June 21, 2023, 14:30.
26. Reijenga, T. Kaan, H. PV in Architecture. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. Second ed.: John Wiley & Sons. 2011.
27. Report IEA PVPS T15-06:2019. Compilation and Analysis of User Needs for BIPV and its Functions. 2019.
28. Report IEA-PVPS T15-04, 2018. Photovoltaic Power Systems Program, international definitions of BIPV. 2018.
29. Richard, H. etal. The Environmental Brief: Pathways for Green Design, Taylor and Francis. 2007, p. 44. ISBN 978-0-203-96681-5.
30. Richardson, L. The History of Solar Energy. at 3-5-2022. <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/>. Accessed July 3, 2022, 1:30.
31. Roecker, C. etal. Solar Energy Systems in Architecture-integration criteria and guidelines. In International Energy Agency Solar Heating and Cooling Programme. International Energy Agency: Paris, France, 2013.
32. Rogalski, Antoni. Infrared and terahertz detectors (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press. p. 929, 2019.
33. Rosa, F. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in Historical Buildings: Opportunities and Constraints. Energies 2020, 13, 3628. doi:10.3390/en13143628. <https://pdfs.semanticscholar.org/0273/c9edaf75cfe06d046f3f9171f128d92279bf.pdf>. Accessed June 19, 2023, 20:30.
34. Rowlett, Russ. "Lighthouses of Japan: Nagasaki Area". The Lighthouse Directory. University of North Carolina at Chapel Hill. Accessed July 3, 2022, 12:55.
35. Royeset, A. Etal. Optical interference coatings for coloured building integrated photovoltaic modules: Predicting and optimising visual properties and efficiency. Energy and Building Journal, Published by Elsevier B.V, 4 September 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113517>.
36. Samir, H. Ali, N. Applying building – integrated photovoltaics (BIPV) in existing buildings, opportunities and constrains in Egypt. International conference – green urbanism, 2017. P.P 614-625.
37. Sawyer, S. Albuquerque Modernism, Solar Building. at 6-5-2023. <http://albuquerquemodernism.unm.edu/wp/solar-building/>.

38. Schoon, N. Bed ZED - the UK's first major sustainable community, THE BEDZED STORY. Bioregional. April 2016. <https://www.bioregional.com/projects-and-services/case-studies/bedzed-the-uks-first-large-scale-eco-village>. Accessed June 19, 2023, 21:15.
39. Sharma, A. Kothari, D. Solar Pv Façade for High-rise Buildings in Mumbai. International Journal of Civil Engineering Research. ISSN 2278-3652 Volume 8, Number 1, 2017. pp. 15-32
40. Simon, R. and Guriento, N. Building Integrated Photovoltaics/a handbook, Birkhäuser, Basel, Switzerland. 2009.
41. Smith, Zachary Alden; Taylor, Katrina D. Renewable and alternative energy resources: a reference handbook. ABC-CLIO. 2008. p. 174.
42. SOLAR MAG. Transparent Solar Panels: Reforming Future Energy Supply. Solar Magazine. 29 February 2020. <https://solarmagazine.com/solar-panels/transparent-solar-panels/>. Accessed June 21, 2023, 17:00.
43. Solar Square. AMORPHOUS SILICON SOLAR CELL: COMPONENTS, WORKING PRINCIPLE, PRICE, AND PROS & CONS. 24 June 2022. <https://www.solarsquare.in/blog/amorphous-silicon-solar-cell-price/>. Accessed July 10, 2023, 12:20.
44. Special Report on Solar PV Global Supply Chains. IEA Report, July 2022.
45. Tabriz, S.N.; Fard, F.; Partovi, N. Review of architectural day lighting analysis of photovoltaic panels of BIPV with zero energy emission approach. Res. J. Appl. Sci. 2016, 11, 735–741.
46. The Atlanta Committee for the Olympic Games, The Washington Post. History Of Olympic Torch Relays. <https://www.washingtonpost.com/wp-srv/sports/olympics/longterm/torches/history.htm>. Accessed July 3, 2022, 1:00.
47. The Editors of Encyclopedia Britannica. Power PHYSICS. <https://web.archive.org/web/20190705051216/https://www.britannica.com/science/power-physics>. Accessed January 19, 2023, 11:30.
48. Thomas, R., Fordham, M. & Partners (eds). Photovoltaics and Architecture, London: Spon Press. 2001.
49. Tölle, R. et al. Development of colored solar modules for artistic expression with solar facade designs within the "bimode"-project. Proc. 16th European PVSEC, 01-05 May 2000 in Glasgow.
50. Tölle, R. et al. The Production of Aesthetically Pleasing Module prototypes within the BIMODE-Project Proc. 16th European PVSEC, 01-05 May 2000 in Glasgow.
51. Trends in Global CO2 Emissions, Pbl Netherlands Environmental Assessment Agency REPORT, 2013. <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2013-trends-in-global-co2-emissions-2013-report-1148.pdf>. Accessed February 22, 2023, 22:00.
52. Trivich, D. Photovoltaic Cells and Their Possible Use as Power Converters for Solar Energy. Ohio Journal of Science: Volume 53, Issue. 5-9-1953.
53. UNDP. National Project Grid Connected Small -Scale Photovoltaic Systems "Egypt-Pv" Report. 2020. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/eg/EG-Egypt-PV-Report-2020.pdf>. Accessed April 14, 2022, 15:10.
54. UNEP (2017, 2021) Emissions Gap Report, (2021) Adaptation Gap Report, United Nations Environment Program.
55. Wang, Y. "Design of solar Residential Building Integration," Journal of Building Energy Efficiency, Vol. 38, No. 1, 2010, pp.53-55.
56. Wanner, N. NEW ACCESSORIES FOR CLEANING FAÇADES AND SOLAR POWER INSTALLATIONS. Kärcher. at 5-10-2020. <https://www.kaercher.com/int/inside-kaercher/company/media-information/media->

[information/2169-new-accessories-for-cleaning-facades-and-solar-power-installations.html](https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2022/07/19/new-accessories-for-cleaning-facades-and-solar-power-installations). Accessed July 19, 2022, 2:30.

57. World Bank Data. 2023.
58. World Energy Investment Report 2021. IEA, 2021.
59. Zhang, Q. "Intensity dependence of the photoelectric effect induced by a circularly polarized laser beam" *Physics Letters*. 1996. pp 125, 216.

١٠-٤ قائمة المصادر الإنجليزية للشبكة الدولية للمعلومات

1. ACS Chemistry for life. Solar Cell Work. <https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2013-2014/how-a-solar-cell-works.html> Accessed March 12, 2022, 15:00.
2. American Chemical Society. How a Solar Cell Works. <https://www.acs.org/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/archive-2013-2014/how-a-solar-cell-works.html>. Accessed May 20, 2023, 15:00.
3. American Solar Energy Society. Polycrystalline Solar Panels vs Monocrystalline Solar Panels. 20 February 2021. <https://ases.org/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>. Accessed June 21, 2023, 14:00.
4. Arch Daily. Copenhagen International School Nordhavn / C.F. Møller. <https://www.archdaily.com/879152/copenhagen-international-school-nordhavn-cf-moller> Accessed July 12, 2022, 15:28.
5. Astrid-schneider. Schnitterhaus Nechlin. <https://www.astrid-schneider.de/de/architektur/schnitterhaus-nechlin/> Accessed July 12, 2022, 15:28.
6. Atlas Obscura. Odeillo solar furnace. <https://www.atlasobscura.com/places/odeillo-solar-furnace>. Accessed July 3, 2022, 15:00.
7. Atlas Obscura. November 25, 2009. Odeillo Solar Furnace. <https://www.atlasobscura.com/places/odeillo-solar-furnace> Accessed March 12, 2022, 15:00.
8. Bolt, O. 3 Amorphous Solar Panels Advantages and Disadvantages. March 2, 2024. <https://energytheory.com/3-amorphous-solar-panels-advantages-and-disadvantages> Accessed April 23, 2024, 11:00.
9. Brakels, R. The Solar Spectrum and Why "UV Solar Panels" Are A Con Job. August 17, 2017. <https://www.solarquotes.com.au/blog/uv-solar-panels/> /Accessed September 11, 2022, 19:22.
10. Center for Solar Energy and Hydrogen Research, Stuttgart, Germany. <https://transsolar.com/projects/stuttgart-zsw-forschungs-und-verwaltungsgebäude> Accessed July 12, 2022, 15:28.
11. Data World Bank. <https://data.albankaldawli.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>. Accessed June 28, 2022, 17:05.
12. Department of Mechanical Engineering and the Solar Energy Fund at the Massachusetts Institute of the Technology, Building 34 *MIT Solar House I*, 1939. <https://energyhistory.yale.edu/library-item/mit-solar-house-i-1939> Accessed October 23, 2023, 11:00.
13. Egypt PV Report. 2020. <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/eg/EG-Egypt-PV-Report-2020.pdf> Accessed March 12, 2023, 15:00.
14. Future Map of the World by Gordon-Michael Scallion. https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/s0ze1n/future_map_of_the_world_by_gordonmichael_scallion/. Accessed September 14, 2022, 15:05.
15. Gerald, Y. mart Buildings Report 1 (Cont'd): 2020 Floor Cleaning Robots, Facade Cleaning Robots and Solar Panel Cleaning Robots. August 19, 2020. <https://insights.rlist.io/p/report-pt-1-floor-facade-and-solar.html> Accessed July 12, 2022, 15:28.

16. Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/download/egypt> Accessed July 12, 2022, 15:28.
17. Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/download/middle-east-and-north-africa> Accessed August 23, 2022, 13:12.
18. Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/download/world> Accessed August 23, 2022, 13:12.
19. Green Will Energy. Solar Panel. https://www.greenwillenergy.com/solar-panel/?gclid=EAJalQobChMIhb3R_pL1gAMVcpNoCR2BhgloEAAYASAAEgKBnvD_BwE Accessed July 12, 2022, 15:28.
20. IEA PVPS Task 15 project. Béjar Market. <https://integratedpv.eurac.edu/en/case-studies/b%C3%A9jar-market.html> Accessed October 25, 2022, 13:16.
21. IEA PVPS Task 15 project. Omicron Headquarter. <https://integratedpv.eurac.edu/en/case-studies/omicron-headquarter.html> Accessed October 25, 2022, 13:16.
22. IEA, International Energy Agency. Colored BIPV. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf. Accessed October 23, 2023, 11:00.
23. International Energy Agency. Photovoltaic Power System Program. https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/IEA-19:22.PVPS_15_R07_Coloured_BIPV_report.pdf Accessed September 11, 2023.
24. Kramer junction solar electric generating station, California. The center for land use interpretation. <https://clui.org/ludb/site/kramer-junction-solar-electric-generating-station> Accessed March 12, 2022, 15:00.
25. Land Art generator, the 19th century solar engines of Augustin Mouchot, Abel Pifre, and John Ericsson. February 29, 2012. <https://landartgenerator.org/blagi/archives/2004> Accessed March 12, 2022, 15:00.
26. Lofsolar Corp. <http://www.lofsolar.com/LofsolarPerformance/londonkingsgatehouse/sustainablehomeslevel4-69.html> Accessed July 12, 2022, 15:28.
27. Lofsolar. Color Solar Cell. www.lofsolar.com Accessed October 23, 2023, 11:00.
28. Luminous India. On Grid Solar System Vs. Off Grid Solar System, Luminous. May 23, 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=rCaPWLKn1I&list=LL&index=76>. Accessed October 23, 2022, 11:00.
29. MITREX. Architectural solar facades, reimagined. <https://mitrex.com/solar-facade/#pane-2> Accessed July 12, 2023, 15:28.
30. Nasa Science, How Old Is the Sun? 25 May 2021. <https://spaceplace.nasa.gov/sun-age/en/>. Accessed April 16, 2023, 24:30.
31. Nasa Science. Living in the Atmosphere of the Sun. https://sunearthday.nasa.gov/2007/locations/ttt_sunlight.php. Accessed April 15, 2023, 23:30.
32. Nasa Science. Nasa's Heasarc: Observatories, OSO 1. <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/missions/oso1.html>. Accessed July 3, 2022, 14:30.
33. New accessories for cleaning facades and solar power installations. <https://www.kaercher.com/int/inside-kaercher/company/media-information/media-information/2169-new-accessories-for-cleaning-facades-and-solar-power-installations.html> Accessed July 12, 2022, 15:28.
34. NOMADD is the NO Water Mechanical Automated Dusting Device. <https://www.nomaddesertsolar.com/about.html>. Accessed July 12, 2022, 15:28.

35. Palmetto. Black vs Blue Solar Panels: What's the Difference? <https://palmetto.com/learning-center/blog/black-vs-blue-solar-panels-monocrystalline-polycrystalline>. Accessed July 10, 2023, 13:30.
36. Ranier, S. Viel Power hitter Dieser Solar facade. February 1, 2022. <https://energy.energy/viel-power-hinter-dieser-solarfassade/> Accessed July 12, 2022, 15:28.
37. Raymond, E. and Telkes, M. Dover Sun House, 1948. <https://energyhistory.yale.edu/library-item/eleanor-raymond-and-maria-telkes-dover-sun-house-dover-massachusetts-1948> Accessed October 25, 2023, 13:16.
38. Schoon, N. The Bed ZED Story Bioregional. April 2016. https://storage.googleapis.com/www.bioregional.com/downloads/The-BedZED-Story_Bioregional_2017.pdf Accessed October 25, 2022, 13:16.
39. Sehati, P. Etal. Aesthetically pleasing PV modules for the Built Environment. January. 2019. https://www.researchgate.net/publication/331036665_Aesthetically_pleasing_PV_modules_for_the_Built_Environment Accessed October 23, 2022, 11:00.
40. Simms, D.L. Archimedes and the Burning Mirrors. Technology and Culture, Vol. 18, No. 1, pp. 1-24. <https://www.hellenicaworld.com/Greece/Science/en/Mirrors.html> Accessed September 11, 2022, 19:22.
41. Sinovoltaics. GaAs Solar Cells. <https://sinovoltaics.com/learning-center/solar-cells/gaas-solar-cells/>. Accessed June 21, 2023, 15:40.
42. Solar Architecture. https://solarchitecture.ch/wpcontent/uploads/2020/11/201022_BIPV_web_V01.pdf Accessed October 25, 2022, 13:16.
43. Solar architecture. Pompeu Fabra Library. <https://solarchitecture.ch/timeline/pompeu-fabra-library/>. Accessed August 19, 2023, 20:30.
44. Solar Architecture. René Schmid Architekten AG, project in Zwirnerstrasse. <https://solarchitecture.ch/rene-schmid-architekten-ag-project-in-zwirnerstrasse/> Accessed July 12, 2022, 15:28.
45. Solar Architecture. Residential building renovation. <https://solarchitecture.ch/residential-building-renovation> Accessed July 12, 2022, 15:28.
46. Solar Architecture. solaris-416. <https://solarchitecture.ch/solaris-416/> Accessed July 12, 2022, 15:28.
47. Solar Architecture. tourism office. <https://solarchitecture.ch/timeline/tourism-office/> Accessed October 25, 2022, 13:16.
48. Solar architecture. Wohnanlage Richter, München. <https://solarchitecture.ch/timeline/wohananlage-richter/>. Accessed August 19, 2023, 16:30.
49. Solar Capture. Solar Solutions for People & Planet. www.solarcapturetechnologies.com Accessed October 23, 2022, 11:00.
50. Solar Cell Efficiency. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/solar-cell-efficiency> Accessed July 12, 2022, 15:28.
51. Solar Feeds. Copper Indium Gallium Selenide (CIGS). <https://www.solarfeeds.com/mag/wiki/copper-indium-gallium-selenide/>. Accessed June 21, 2023, 14:38.
52. Solar Heated Building. <https://www.historicabq.org/1956-solar-heated-building.html>. Accessed March 12, 2022, 15:00.
53. Solar House History. MIT Massachusetts institute of technology. <http://web.mit.edu/solardecathlon/solar2.html> Accessed October 25, 2022, 13:16.
54. Solar MAG. Transparent Solar Panels: Reforming Future Energy Supply. February 29, 2020. <https://solarmagazine.com/solar-panels/transparent-solar-panels> Accessed October 23, 2022, 11:00.

55. Solar Panel Dimension. <https://climatebiz.com/solar-panel-dimensions-chart/> Accessed March 12, 2022, 15:00.
56. Soltech. Vi integrerar solen i vardagen. www.soltechenergy.com Accessed October 23, 2022, 11:00.
57. Spiegel, C. Components of a Photovoltaic System. October 23, 2018. <https://www.fuelcellstore.com/blog-section/components-of-a-photovoltaic-system> Accessed October 23, 2022, 11:00.
58. Targray. Commercial BIPV solar systems. <https://www.targray.com/solar/bipv> Accessed July 12, 2023, 15:28.
59. The Official Web site of The Nobel Prize. The Nobel Prize in Physics. https://web.archive.org/web/20180617170415/https://www.nobelprize.org/nobel_prize/s/physics/laureates/1921/index.html. Accessed July 3, 2022, 12:55.
60. The Renewable Energy Hub. What is Silicon Solar Cells. 21-4-2023. <https://www.renewableenergyhub.co.uk/main/solar-panels/silicon-solar-cells>. Accessed May 20, 2023, 14:30.
61. The Solar Cooking Archive, Horace de Saussure and his hot boxes of the 1700's. <http://solarcooking.org/saussure.htm> Accessed September 11, 2022, 19:22.
62. The Solar Cooking Archive. Horace de Saussure and his Hot Boxes of the 1700's. <http://solarcooking.org/saussure.htm>. Accessed July 3, 2022, 2:30.
63. The World Bank. Solar Photovoltaic Power Potential by Country. at 23-7-2020. <https://www.worldbank.org/en/topic/energy/publication/solar-photovoltaic-power-potential-by-country> . Accessed May 14, 2023, 20:30.
64. Total electricity generation per person. Our World in Data.org/energy . 2023. <https://ourworldindata.org/grapher/per-capita-electricity-generation?tab=chart&country=~EGY>. Accessed December 28, 2023, 12:05.
65. Wignes, s. What is the Carbon Footprint of Solar Panels? at 31-8-2023. <https://www.solar.com/learn/what-is-the-carbon-footprint-of-solar-panels/>. Accessed December 28, 2023, 14:37.

المرفقات

المرفق رقم (1)

مقايضة لبنود اعمال النموذج التطبيقي في ديسمبر 2023								
م	بند الاعمال	الوحدة	الكمية لارتفاع 3م للدور	الفئة بالجنه	الاجمالي بالجنه	الكمية لارتفاع 4م للدور	الاجمالي بالجنه	ملاحظات
1- اعمال الحفر والردم								
1-1	حفر للاساسات	3م	570	150	85500	570	85500	لا يوجد تغيير في الكميات
2-1	ردم من ناتج الحفر	3م	725	100	72500	725	72500	لا يوجد تغيير في الكميات
2- اعمال الخرسانات								
1-2	توريد وصب خرسانة عادية لزوم الاساسات	3م	122	1500	183000	150	225000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 20% بسبب زيادة الاحمال والارتفاع
2-2	توريد وصب خرسانة مسلحة لزوم القواعد والميدات ورقالب الاعمدة	3م	118	3000	354000	142	426000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 20% بسبب زيادة الاحمال والارتفاع
3-2	نكة خرسانية لزوم الارضيات للدور الارضى	2م	284	1500	426000	284	426000	لا يوجد تغيير في الكميات
4-2	توريد و عمل خرسانة خفيفة لزوم ميول السطح	2م	284	350	99400	284	99400	لا يوجد تغيير في الكميات
5-2	توريد وصب خرسانة مسلحة لزوم الاسقف والسلالم	3م	350	4500	1575000	420	1890000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 20% بسبب زيادة الاحمال والارتفاع
6-2	توريد وصب خرسانة مسلحة لزوم الاعمدة	3م	90	4000	360000	117	468000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الاحمال والارتفاع
3- اعمال الطبقة العازلة								
1-3	توريد و عمل طبقة عازلة للرطوبة للاسطح	2م	280	200	56000	280	56000	لا يوجد تغيير في الكميات
2-3	عمل طبقة عازلة للحرارة	2م	280	200	56000	280	56000	لا يوجد تغيير في الكميات
3-3	عمل طبقة عازلة للرطوبة لزوم اسطح خرسانة الاساسات المسلحة	2م	1600	650	1040000	1920	1248000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 20% بسبب زيادة الاحمال للاساسات
4- اعمال المباني								
1-4	عمل مباني طوب لزوم حوائط قصة الردم سمك 25	3م	90	350	31500	90	31500	لا يوجد تغيير في الكميات
2-4	عمل مباني طوب سمك 12 سم	2م	2400	300	720000	3120	936000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع
3-4	عمل مباني من الطوب الاسمنتي لزوم الحمامات والمطابخ	2م	650	450	292500	845	380250	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع
5- اعمال البياض								
1-5	عمل بياض تخشين للحوائط الداخلية	2م	3670	80	293600	4771	381680	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع
2-5	عمل بياض فطيسة او طرطشة اسمنتية للواجهات الخارجية	2م	2000	100	200000	2600	260000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع
3-5	بياض خارجي لزوم حوائط السلالم	2م	240	100	24000	312	31200	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع
4-5	بياض فطيسة اسمنتية لزوم اسقف السلالم	2م	105	80	8400	105	8400	لا يوجد تغيير في الكميات
5-5	بياض تخشين لزوم دراوى السطح	2م	120	80	9600	240	19200	توجد زيادة في الكمية بنسبة 100% بسبب زيادة ارتفاع الدروة حتى 2م

المرفقات

6- اعمال الارضيات								
1-6	توريد وتركيب ترابيع رخام للمداخل وبسطات السلالم	2م	60	450	27000	60	27000	لا يوجد تغيير في الكميات
2-6	توريد وتركيب رخام للقوائم والنوائم لدرج السلم	م\ط	116	600	69600	151	90600	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع
3-6	توريد وتركيب بلاط للاسطح	2م	280	80	22400	280	22400	لا يوجد تغيير في الكميات
4-6	توريد وتركيب بلاط للغرف والصالات والمداخل والطرفقات والبلكنات	2م	1230	80	98400	1230	98400	لا يوجد تغيير في الكميات
5-6	توريد وتركيب سير اميك لزوم أرضية الحمامات والمطابخ	2م	250	250	62500	250	62500	لا يوجد تغيير في الكميات
6-6	توريد وتركيب سير اميك لزوم حوائط الحمامات والمطابخ	2م	385	250	96250	385	96250	لا يوجد تغيير في الكمية لانه على ارتفاع 2,2م
7- اعمال الدهانات								
1-7	توريد ودهان لزوم الحوائط الداخلية والاسقف	2م	4360	150	654000	5450	817500	توجد زيادة في الكمية بنسبة 25% بسبب زيادة الارتفاع
2-7	توريد ودهان لزوم اسقف وحوائط المطابخ والحمامات	2م	780	150	117000	975	146250	توجد زيادة في الكمية بنسبة 25% بسبب زيادة الارتفاع
3-7	توريد ودهان لزوم دراوى السطح	2م	140	20	2800	280	5600	توجد زيادة في الكمية بنسبة 100% بسبب زيادة ارتفاع الدروة حتى 2م
8- اعمال متنوعة								
1-8	توريد وتركيب درابزين للسلالم والشبابيك والبلكنات ودهانهم	بالكجم	3900	600	2340000	4290	2574000	توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع
2-8	توريد وتركيب قرميد للواجهات	2م	30	300	9000	30	9000	لا يوجد تغيير في الكميات
3-8	توريد وتركيب باب خارجى حديد مشغول	بالعدد	1	5000	5000	1	5000	لا يوجد تغيير في الكميات
9- اعمال النجارة								
1-9	توريد وتركيب نماذج أبواب مختلفة	بالعدد	60	4500	270000	60	270000	لا يوجد تغيير في الكميات
2-9	توريد وتركيب نماذج شبابيك مختلفة	بالعدد	112	3500	392000	112	392000	لا يوجد تغيير في الكميات
10- اعمال التركيبات الصحية								
1-10	توريد وتركيب مرحاض لزوم الحمامات	بالعدد	12	2000	24000	12	24000	لا يوجد تغيير في الكميات
2-10	توريد وتركيب حوض غسل ايدى لزوم الحمام	بالعدد	12	1000	12000	12	12000	لا يوجد تغيير في الكميات
3-10	توريد وتركيب حوض قدم لزوم الحمام	بالعدد	12	3000	36000	12	36000	لا يوجد تغيير في الكميات
4-10	توريد وتركيب سيفون بلاستيك	بالعدد	12	200	2400	12	2400	لا يوجد تغيير في الكميات
5-10	توريد وتركيب حوض استائلس للمطبخ	بالعدد	12	2500	30000	12	30000	لا يوجد تغيير في الكميات
6-10	توريد وتركيب مواسير بلاستيك لغرف التنقيش قطر 6 بوصة و4 بوصة	م\ط	50	300	15000	50	15000	لا يوجد تغيير في الكميات
			20	250	5000	20	5000	
7-10	توريد وتركيب مواسير بلاستيك لزوم أعمدة الصرف 4 بوصة 3بوصة 2بوصة	م\ط	80	300	24000	104	31200	توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع
			80	250	20000	104	26000	
			80	200	16000	104	20800	

المرفقات

لا يوجد تغيير في الكميات	2400	6	2400	400	6	بالعدد	توريد وتركيب جاليتراب من البلاستيك	8-10
لا يوجد تغيير في الكميات	7500	3	7500	2500	3	بالعدد	توريد وانشاء غرفة تفتيش	9-10
توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة لبيبلغ 260 جنية	520	2	400	200	2	بالعدد	توريد وتركيب جرجورى من البلاستيك	10-10
لا يوجد تغيير في الكميات	80	1	80	80	1	بالعدد	توريد وتركيب محابس تغذية قطر 2 بوصة	11-10
	280	4	280	70	4		1,5 بوصة	
	720	12	720	60	12		1 بوصة	
	600	12	600	50	12		بوصة 3\4	
توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع لمواسير قطر 3 و 2 بوصة	3300	33	2500	100	25	م\ط	توريد وتركيب مواسير تغذية قطر 3 بوصة	12-10
	5200	65	4000	80	50		2 بوصة	
	1400	20	1400	70	20		1,5 بوصة	
	1200	20	1200	60	20		1 بوصة	
	4000	80	4000	50	80		بوصة 3\4	
لا يوجد تغيير في الكميات	10000	4	10000	2500	4	بالعدد	توريد وانشاء غرفة بطارية مواسير	13-10
11- الاعمال الكهربائية								
لا يوجد تغيير في الكميات	15000	1	15000	15000	1	بالعدد	توريد وتركيب كوفرة عمومي	1-11
لا يوجد تغيير في الكميات	1200	4	1200	300	4	م\ط	توريد وتركيب ماسورة بلاستيك 4 بوصة لمواسير الكهرباء	2-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع	29240	34	22360	860	26	م\ط	توريد وتركيب العامود الصاعد	3-11
لا يوجد تغيير في الكميات	2000	5	2000	400	5	بالعدد	توريد وتركيب صندوق توزيع بالادوار	4-11
لا يوجد تغيير في الكميات	320	1	320	320	1	بالعدد	توريد وتركيب لوحة خدمات للانارة	5-11
لا يوجد تغيير في الكميات	4800	96	4800	50	96	م\ط	توريد وتركيب خط تغذية	6-11
لا يوجد تغيير في الكميات	3000	12	3000	250	12	بالعدد	توريد وتركيب كوفرية من الصاج للشقق	7-11
لا يوجد تغيير في الكميات	10560	12	10560	880	12	بالعدد	توريد وتركيب لوحة فرعية للشقق	8-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة لبيبلغ 350 جنية	25200	72	16560	230	72	بالعدد	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج انارة	9-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة لبيبلغ 650 جنية	7800	12	780	65	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة انارة فرعية	10-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة لبيبلغ 1155 جنية	1155	1	1050	1050	1	بالعدد	توريد وتركيب دائرة تغذية السلم	11-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة لبيبلغ 260 جنية	24960	96	22560	235	96	بالعدد	توريد وتركيب دائرة التغذية ماخذ كهربى او اكثر	12-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة لبيبلغ 281 جنية	3372	12	3060	255	12	بالعدد	توريد وتركيب فيش كهرباء	13-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة لبيبلغ 187 جنية	2244	12	2040	170	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج جرس	14-11

المرفقات

توجد زيادة في الكمية بنسبة 5% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة ليلينغ 210 جنية	2520	12	2400	200	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة لمخرج تليفون	15-11
لا يوجد تغيير في الكميات	1000	1	1000	1000	1	بالعدد	توريد وتركيب صندوق لتغذية مخارج التليفونات	16-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة ليلينغ 336 جنية	4032	12	3660	305	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج ائارة على باب الشفة	17-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة ليلينغ 127 جنية	1524	12	1380	115	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج اضاءة على الحائط لزوم الحمام	18-11
لا يوجد تغيير في الكميات	170	1	170	170	1	بالعدد	توريد وتركيب دائرة ائارة مدخل العمارة	19-11
توجد زيادة في الكمية بنسبة 10% بسبب زيادة الارتفاع محمل على الفئة ليلينغ 450 جنية	5400	12	2760	230	12	بالعدد	توريد وتركيب دائرة فرعية لتغذية مخرج ائارة سقف التراس	20-11
16%	12102227	الاجمالي	10389090	الاجمالي				
		1660	اجمالي المسطحات السكنية الاجمالية للعمارة (2م)					
16%	7260	الاجمالي	6258	تكلفة المتر السكني بالجنيه =				
12- اعمال تركيب نظام BAPV على السطح								
لا يوجد تغيير في الكميات	456000	120	456000	3800	120	2م	توريد وتركيب ألواح طاقة شمسية بنظام BAPV على السطح بشكل مائل بزاوية 30 درجة ناحية الجنوب، بحيث تكون ابعاد اللوح المستخدم (992×1640) مم، ويقدره 250 وات، وكفاءة 16%، والبند يشمل شاسيات التثبيت والاسلاك	1-12
13- اعمال تركيب نظام BIPV على الواجهات								
توجد زيادة في الكمية بنسبة 30% بسبب زيادة الارتفاع	4115000	823	3125000	5000	625	2م	توريد وتركيب ألواح طاقة شمسية بنظام BIPV على الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية، بحيث تكون ابعاد اللوح المستخدم (60×60) سم، ويقدره 250 وات، وكفاءة 16%، والبند يشمل شاسيات التثبيت والاسلاك	1-13
28%	4571000	الاجمالي	3581000	اجمالي تكلفة تركيب النظام على المبنى				
	291200	2912	224000	200	2240	2م	خصم بند البياض الخارجي او طرشة اسمنتية للواجهات الخارجية و البياض الخارجي لزوم حوائط السلام	14
19%	16382027	الاجمالي	13746090	الاجمالي النموذج بعد تركيب النظام				
28%	2754	تكلفة المتر لتركيب النظام	2157	تكلفة المتر لتركيب النظام				
19%	10013	تكلفة المتر للنموذج بعد تركيب النظام	8416	تكلفة المتر السكني للنموذج بعد تركيب النظام				

الأبحاث المنشورة من الرسالة

(١) البحث الأول

تم نشر بحث بعنوان:-

"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”

في مجلة كلية الهندسة بجامعة طنطا، في العدد ٢ بمجلد رقم ٧، وتم نشر العدد في يونيو ٢٠٢٣.

DOI: 10.21608/ERJENG.2023.204157.1170

ISSN: 2356-9441

E- ISSN: 2735-4873

والبحث متاح على اللينك التالي:

<https://digitalcommons.aaru.edu.jo/erjeng/vol7/iss2/14>

Journal of Engineering Research

Volume 7 | Issue 2

Article 14

2023

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

Ahmed Ayman Eissa

Journal of Engineering Research



TANTA
UNIVERSITY IN EGYPT - FACULTY OF ENGINEERING
JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH

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

Recommended Citation

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

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

٢) البحث الثاني

تم نشر بحث بعنوان:-

"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”

في مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، والتي تصدر عن الجمعية العربية للحضارة والفنون الإسلامية، والبحث سوف ينشر في المجلد العاشر - العدد الثاني والخمسون (٥٢)، في شهر يوليو ٢٠٢٥.

DOI: 10.21608/MJAF.2024.275826.3344

Print Issn:2356-9654

Online Issn:2357-0342

والبحث متاح على الينك التالي:

https://mjaf.journals.ekb.eg/article_354502.html

Print Issn:2356-9654
Online Issn:2357-0342
Doi: 10.21608/MJAF.2024.275826.3344

إدارة قبول ونشر
أ.د/ حسام الدين مصطفى
استاذ تزيخ ونظريات العمارة - قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية
إ.د/ صفاء محمود حوسى
استاذ تصميم المعماري - قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية
د.م/ أحمد زين حوسى
مدرس مساعد - قسم الهندسة المعمارية، كلية الهندسة، جامعة المنوفية
تخية طبية وبعد
لقد نودناكم جداً بأنه تم قبول البحث الخامس سيديتكم بعد التكميم للنشر في مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية والتي تصدر عن الجمعية العربية للحضارة والفنون الإسلامية والبحث بعنوان
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
والبحث سوف ينشر في العدد العاشر - العدد الثاني والخمسون - يوليو ٢٠٢٥
البحث مقبول النشر 2024-05-14
وتفضلوا بقبول فائق الشكر وعظيم التقدير

مدير تحرير المجلة
أ.د/مها الخسي

تحريراً ٢٠٢٤، ١٧
خطة نسبية في قاعدة بيست
<https://ojs.aaia.eg/>
<https://doi.org/10.2357-0342>
<https://mjaf.journals.ekb.eg/>
<https://scholar.google.com/citations?user=71a0g>
<https://www.mindmatters.com/>
<https://www.ajournals.com/>
<https://www.academia.edu/>
<https://publons.com/journal/629803>
<https://mlar.uib.edu/issn/2356-9654>
<http://iaa.aiaaegypt.com/>
<https://www.iopmatics.ac.uk/>
مدخل 115 أثير الدولية - جمعية المهندسين المعماريين العالمية - مصر
تليفون الفاكس: 00202-27429726

مجلد ١٧، العدد ١٤٣٣، يوليو ٢٠٢٥

www.aiaaegypt.com
e-mail:aaia@egypt.com
+201221045299

المجلد العاشر - العدد الثاني والخمسون
المعهد القومي للبحوث والدراسات المعمارية
ISSN 2356-9654
ISSN 2357-0342

المجلد العاشر - العدد الثاني والخمسون - يوليو ٢٠٢٥

تصدر عن
المعهد القومي للبحوث والدراسات المعمارية

المجلد العاشر - العدد الثاني والخمسون - يوليو ٢٠٢٥

رقم الإيداع 24288
ترجمته الهادي الصديقي للبريك 2856 - 2854
ترجمته الهادي الصديقي للبريك عبر الإنترنت 2857-0342

المعهد القومي للبحوث والدراسات المعمارية

EGYPTIAN EVIDENCE BANK
DOA | DIRECTORATE OF OPEN ACCESS
دار المنشورات
Google scholar

ملخص البحث

تمثل الطاقة عصب الحياة في أي مجتمع، بل تعد الطاقة أحد أهم إشكاليات التنمية على مر التاريخ، وبالتالي فهي تلعب دور أساسي في تحقيق التنمية الاقتصادية لأي دولة، لذلك كانت مصادر الطاقة سبباً رئيسياً للعديد من الصراعات والحروب بين الدول، حيث إنه مع التقدم التكنولوجي تزداد احتياجات الإنسان للطاقة، ويزداد طلبه على مصادرها، وخاصة مشتقات البترول لسهولة نقلها وتخزينها. ويمر العالم بأزمة واضحة في الطاقة التقليدية، ففي مصر على سبيل المثال ترتفع أسعار الكهرباء سنوياً، فضلاً عن التلوث البيئي الناتج من استهلاك هذه الطاقة، وارتفاع انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، والنمو السكاني المتزايد باستمرار مع زيادة الطلب على المسكن ومحاولة الدولة لبناء العديد من المساكن لاستيعاب هذا الزحف العمراني والطلب على المسكن بسبب الزيادة المستمرة، مع فتح محاور جديدة ومدن جديدة في البلاد خلال تلك الفترة لتخفيف الزحام من التكدس العمراني حول ضفاف نهر النيل، تلك العوامل التي تعمل على تشكيل المدن بشكل كبير، مما جعل العالم يبحث عن بدائل للطاقة التقليدية تكون صديقة للبيئة، ومن أهم هذه البدائل الطاقة الشمسية التي تتوافر في مصر طوال العام. وتتمثل مشكلة البحث في أصبح استخدام نظام BIPV أو الألواح الشمسية المتكاملة مع غلاف المبنى لإنتاج الطاقة الكهربائية واقعاً معاصراً في العديد من دول العالم، وتتمثل المشكلة البحثية في دراسة إمكانية استخدام هذا النظام في مصر، والتي يتوافر بها الإشعاع الشمسي بصورة كبيرة، من خلال الفرضية التالية: "أن غلاف المباني السكنية الجديدة في مصر يمكن أن يشكل مصدراً هاماً لإنتاج الطاقة الكهربائية المستدامة". وتتمثل أهمية البحث في إمكانية تحويل العمران السكني في مصر من وحدات مستهلكة للطاقة لوحدات منتجة للطاقة النظيفة، إمكانية وضع حل واقعي لإنتاج الطاقة الكهربائية من السياق العمراني المحلي، وإيجاد مصدر للطاقة المستدامة النظيفة منخفضة التكلفة. ويهدف البحث إلى التوصل لمجموعة من الاشتراطات البنائية لإنشاء المباني السكنية الجديدة في مصر، من خلال استخدام نظام BIPV للوصول إلى مبنى مستدام، يتناسب مع الظروف المحلية، والتوصل لمجموعة من التوصيات يمكن أن تمهد لتطبيق نظام BIPV في مصر، ووضع ملامح مبدئية لصياغة سياسة إسكان جديدة يمكن تطبيقها في مدن الجيل الخامس. ويندرج البحث ضمن البحوث التجريبية الكمية، وقد ارتكزت الدراسة على الإجراءات التالية (١) التجربة العملية (٢) عملية المحاكاة على عدد من النماذج الافتراضية والنماذج الواقعية، حيث اعتمدت عملية المحاكاة على مجموعة من التطبيقات.

يتكون البحث من ٩ فصول، حيث يناقش الفصل الأول طبيعة المشكلة البحثية، ومفهوم الطاقة، واستهلاك الطاقة، وأزمات الطاقة، والتغيرات المناخية، ومصادر الطاقة المتجددة، والهدف من البحث، وأهميته والمنهج المتبع في البحث والدراسات السابقة. ويناقش الفصل الثاني الطاقة الشمسية من خلال مصدر الطاقة الشمسية، وتصنيف واستخدامات الطاقة الشمسية. ويناقش الفصل الثالث استخدام الطاقة الكهروضوئية في العمارة من خلال مكونات النظام الكهروضوئي، النظام الكهروضوئي، أسلوب عمل نظام BIPV، الاعتبارات الإنشائية والميكانيكية، الاعتبارات المناخية، الاعتبارات البيئية، الاعتبارات المعمارية، التطبيق الفعلي لنظام BIPV في العمارة. وتلك الفصول تعتبر الخلفية النظرية للدراسة، أما باقي الفصول تناقش الدراسة التطبيقية للدراسة من خلال الفصل الرابع يناقش تجربة قياس الكهرباء الناتجة من الألواح. ويناقش الفصل الخامس المحددات التصميمية من خلال ارتفاع الواجهة كمحدد تصميمي، ونسبة مسطح الفتحات لمسطح الواجهة، عدد الوحدات في الدور السكني. ويناقش الفصل السادس المحددات التعبيرية من خلال ألوان الألواح، وظل بروزات الواجهة، وظل كتلة المبنى. ويناقش الفصل السابع محددات الموقع العام من خلال ظل المبنى على الأرض. ويناقش الفصل الثامن المحددات

الاقتصادية من خلال الجدوى الاقتصادية المباشرة لاستخدام النظام. ويختتم البحث بالفصل التاسع الذي يعرض النتائج والتوصيات التي تم التوصل إليها، وأخيراً المراجع والمصادر.

وقد خلصت نتائج البحث إلى مجموعة من النتائج الهامة ومنها (١) أن يتم تثبيت النظام على المبنى السكنى في مصر من خلال تركيب نظام BAPV بزاوية ميل ٣٠ درجة ناحية الجنوب على السطح، ويتم تثبيت ألواح نظام BIPV على الواجهات الشرقية والجنوبية والغربية فقط (٢) لا تقل عدد الأدوار للمبنى المستخدم النظام عن ٣ أدوار، ويفضل استخدام النظام مع الأبراج السكنية المرتفعة ذات الطوابق التي تصل إلى ٢٠ دور أو أكثر (٣) 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 الألواح 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 تشكلياً، إلا إنها لا تتفق مع الناحية الوظيفية لطبيعة الألواح الشمسية (٤) يراعى أثناء مشروعات تقسيم الأراضي أن تكون المحاور الخاصة لقطع الأراضي السكنية مستطيلة الشكل وموجه شمال جنوب، ويتم تلاصق العمارات من خلال الواجهة الجنوبية والشمالية (٥) 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.

يتضح مما سبق أن نظام BIPV يعتبر من الحلول الواعدة والناجحة اقتصادياً لحل مشكلة الطاقة في مصر، وخاصة في قطاع العمران، حيث إن 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.

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

Abstract

Energy is considered a primary source of life in any society and is indeed one of the most critical issues of development throughout history. Consequently, it plays a fundamental role in achieving economic development for any country. This is why energy sources have been a major cause of many conflicts and wars between nations. With technological advancement, human needs for energy increase, leading to a higher demand for energy sources, especially petroleum derivatives due to their ease of transport and storage. The world is experiencing a clear crisis in traditional energy. In Egypt, for instance, electricity prices rise annually, in addition to the environmental pollution resulting from the consumption of this energy and the increase in carbon dioxide emissions. The continuously growing population increases the demand for housing, prompting the state to build numerous new housing units to accommodate this urban expansion and meet the demand for housing due to the constant increase. This also involves opening new axes and cities across the country during this period to alleviate congestion around the banks of the Nile River. These factors significantly shape cities, leading the world to search for environmentally friendly alternatives to traditional energy. One of the most important alternatives is solar energy, which is abundantly available in Egypt throughout the year. The research problem lies in the potential use of the BIPV system (Building Integrated Photovoltaics), where solar panels are integrated with the building envelope to produce electrical energy, a contemporary reality in many countries worldwide. The research problem specifically focuses on studying the feasibility of using this system in Egypt, where solar radiation is abundantly available, based on the following hypothesis: "The envelope of new residential buildings in Egypt can become a significant source of sustainable electrical energy production." The significance of the research lies in the possibility of transforming residential urban areas in Egypt from energy-consuming units to units producing clean energy. It aims to provide a realistic solution for producing electrical energy from the local urban context and to find a low-cost, sustainable, and clean energy source. The research aims to reach a set of construction requirements for constructing new residential buildings in Egypt using the BIPV system to achieve a sustainable building suitable for local conditions. Additionally, the research aims to develop a set of recommendations that can pave the way for the implementation of the BIPV system in Egypt, and to develop preliminary features for formulating a new housing policy that can be applied in fifth generation cities. This research falls within quantitative experimental studies and is based on the following procedures: (1) practical experimentation and (2) simulation processes on several virtual and real models, where the simulation process relies on a set of applications to achieve the desired results.

The research consists of 9 chapters. The first chapter discusses the nature of the research problem, the concept of energy, energy consumption, energy crises, climate change, renewable energy sources, the aim of the research, its significance, the methodology followed in the research, and previous studies. The second chapter addresses solar energy, covering the source of solar energy and the classification and uses of solar energy. The third chapter discusses the use of photovoltaic energy in architecture, including the components of the photovoltaic system, the photovoltaic system, the working method of the BIPV system, structural and mechanical considerations, climatic considerations, environmental considerations, architectural considerations, and the actual application of the BIPV system in architecture. These chapters constitute the theoretical background of the study. The remaining chapters discuss practical study. The fourth chapter examines the experiment of measuring electricity generated from

the panels. The fifth chapter discusses design determinants, including facade height as a design determinant, the ratio of the area of openings to the facade area, and the number of units in the residential floor. The sixth chapter discusses expressive determinants, including the colors of the panels, the shadow of facade projections, and the shadow of the building mass. The seventh chapter discusses the determinants of general location, including the building's shadow on the ground. The eighth chapter addresses economic determinants, including the direct economic feasibility of using the system. The research concludes with the ninth chapter, which presents the findings and recommendations, and finally, the references and sources.

The research concluded with several important findings, including: (1) The BAPV system should be installed on residential buildings in Egypt by mounting the system at a 30-degree tilt angle facing south on the roof. The BIPV panels should be installed only on the eastern, southern, and western facades (2) The number of floors in buildings using the system should be no less than three. It is preferable to use the system with high-rise residential towers with floors reaching up to 20 or more (3) The architectural expression resulting from the BIPV system typically falls within the realm of smooth architecture, characterized by the absence of projections or shadows. Any shadow on the building will reduce the efficiency of the solar panels in generating energy, particularly for the southern, eastern, and western facades. This means it is necessary to abandon the idea of protrusions and recesses in the building facade design, despite the aesthetic richness of this idea, as it does not align with the functional nature of solar panels (4) When planning land subdivision projects, the axes of the residential land plots should be rectangular and oriented north-south. Buildings should be connected through the southern and northern facades (5) The system is highly economically viable, as it recovers its cost after 19 years while the system's lifespan is up to 30 years. Additionally, it covers the electricity consumption bill of the residential unit permanently throughout its lifespan.

It is evident from the foregoing that the BIPV system is considered one of the promising and economically successful solutions to address Egypt's energy problem, especially in the urban sector. The photovoltaic units integrated into the building envelope are highly suitable for generating clean energy, effectively turning the building into an energy-generating machine. However, this technology requires further research and continuous development to enhance the efficiency of solar panels. There is a need to attempt local production to reduce costs and eliminate imposed fees. Moreover, providing incentives to users of the system is necessary to facilitate its widespread adoption.

Keywords:

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



Menoufia University
Faculty of Engineering
Department of Architecture Engineering

The Design Determinants of Energy Generating Buildings to Formulate a New Housing Policy in Egypt

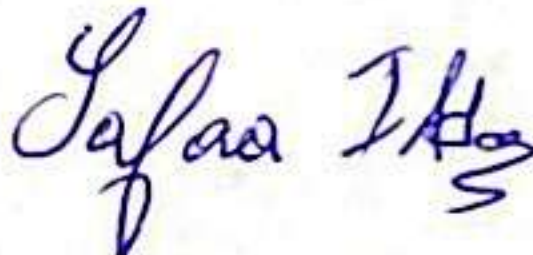
A Research Study Submitted to obtain the degree of Doctor of Philosophy in Architectural
Engineering (Architectural Design) from the Department of Architecture

Prepared By

Architect / Ahmed Ayman Hafiz Amer Eissa

An Assistant Lecturer in the Department of Architecture Engineering, Faculty of Engineering
Menoufia University

Supervised by

Prof. Safaa Mahmoud Issa 

Professor of Architectural Design, Department of Architectural Engineering,
Faculty of Engineering, Menoufia University

Prof. Hossam Eldin Moustafa Saleh 

Professor of History and Theories of Architecture, and Chairman of Department of
Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Menoufia University

2024



Menoufia University
Faculty of Engineering
Department of Architecture Engineering

The Design Determinants of Energy Generating Buildings to Formulate a New Housing Policy in Egypt

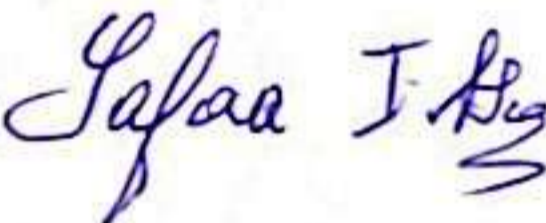
A Research Study Submitted to obtain the degree of Doctor of Philosophy in Architectural
Engineering (Architectural Design) from the Department of Architecture

Prepared By

Architect / Ahmed Ayman Hafiz Amer Eissa

An Assistant Lecturer in the Department of Architecture Engineering, Faculty of Engineering
Menoufia University

Supervised by

Prof. Safaa Mahmoud Issa 


Professor of Architectural Design, Department of Architectural Engineering,
Faculty of Engineering, Menoufia University

Prof. Hossam Eldin Moustafa Saleh 

Professor of History and Theories of Architecture, and Chairman of Department of
Architectural Engineering, Faculty of Engineering, Menoufia University

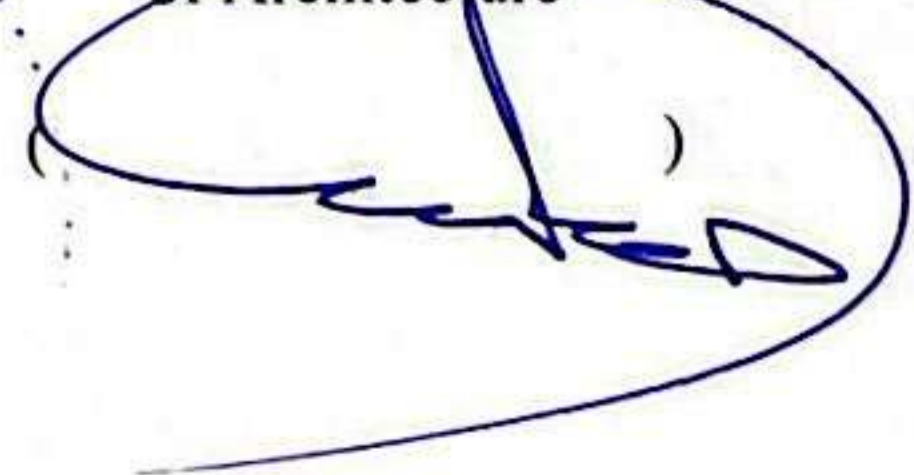
2024

Vice Dean of the College for
Postgraduate Studies and Research





Chairman of Department
of Architecture





Menoufia University
Faculty of Engineering
Department of Architecture Engineering

The Design Determinants of Energy Generating Buildings to Formulate a New Housing Policy in Egypt

A Research Study Submitted to obtain the degree of Doctor of Philosophy in Architectural Engineering (Architectural Design) from the Department of Architecture

Prepared By

Architect / Ahmed Ayman Hafiz Amer Eissa

An Assistant Lecturer in the Department of Architecture Engineering, Faculty of Engineering
Menoufia University

Supervised by

Prof. Safaa Mahmud Issa
Prof. of Architecture, Department
of Architecture, Faculty of Engineering
Menoufia University

Prof. Hossam Eldin Moustafa Saleh
Prof. of History and Theories of
Architecture, Chairman of Department of
Architectural Engineering, Faculty of
Engineering, Menoufia University

Examination Committee

Prof. Safaa Mahmud Issa

Prof. of Architecture, Faculty of Engineering Menoufia University

Prof. Hossam Eldin Moustafa Saleh

Prof. of History and Theories of Architecture, Chairman of Department of
Architectural Engineering Faculty of Engineering Menoufia University

Prof. Nagi Ibrahim EL Kalshi

Prof. of electrical power systems, Vice Dean of the College for Community Service
and Environmental Development, Faculty of Engineering Menoufia University

Prof. Mohamed Fahmy Abdel Aleem

Prof. of Sustainable Built Environment at The Military Technical College

Signature

.....

.....

.....

.....

This Thesis (The Design Determinants of Energy Generating Buildings to Formulate a New Housing Policy in Egypt) was successfully defended and approved on 1 August 2024 AD / 25 Muharram 1446 AH.