الجمهورية العربية السورية وزارة التعـــليم العـــالـــــي الجامعة الافتراضية السورية		Syrian Arab Republic Ministry of Higher Education Syrian Virtual University

برنامج ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء

Professional Master in Building information Modeling and Management

عنوان المشروع:
دراسة تحويل الواجهة الزجاجية للمباني إلى مصدر متجدد للطاقة
/حالة مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية/

إعداد الطالبة:

يارا درياتي

بإشراف:

الدكتورة ضحى جديد

الدكتور بلال زعرور

العام الدراسي 2022-2023

قرار لجنة الحكم

الجامعة الافتراضية السورية

برنامج ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء

اسم الطالبة: يارا دريباتي

الرقم الجامعي: 169305

عنوان البحث:

دراسة تحويل الواجهة الزجاجية للمباني إلى مصدر متجدد للطاقة

/حالة مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية/

أعضاء اللجنة:

1- الدكتور:

2-الدكتور:

3-الدكتور:

أُجيزت هذه الرسالة بتاريخ:

الملخص:

تمثل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتكاملة مع المباني Building integrated photovoltaic (BIPV) تقنية جديدة وواعدة لتأمين الطلب المتزايد على الطاقة في المباني وتحقيق المباني صفرية الطاقة والانبعاثات في المستقبل القريب، مما يوفر حلًا جماليًا واقتصاديًا وتقنيًا لدمج الخلايا الشمسية الكهروضوئية داخل المباني.

تكمن أهمية هذا البحث من كونه الأول من نوعه في سورية، حيث يناقش إمكانية استبدال النوافذ الزجاجية التقليدية الموجودة في مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية المواجهة للجنوب والتي تقدر مساحتها ب 74م² بنوافذ كهروضوئية من نوع بوليكريستالين التي تنتج 160 واط/م². وقد أظهرت النتائج أن استخدام هذا النوع من النوافذ قادر على إنتاج 59,2 كيلو واط وهي كمية كافية لتغطي الحمل الكهربائي الكلي للإنارة والتجهيزات المكتبية الموجودة في المبنى، وبالتالي الوصول إلى مبنى صفري الطاقة على مدار 30 إلى 35 عام، وذلك من مصدر نظيف متجدد صديق للبيئة يساهم في تخفيض انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون بمقدار 65 طن خلال 35 عام.

الكلمات المفتاحية:

الاستدامة، الألواح الكهروضوئية المتكاملة مع البناء، النوافذ الكهروضوئية، الطاقة شمسية، الطاقات المتجددة، المبنى صفري الطاقة.

Abstract:

Building Integrated Photovoltaics (BIPVs) systems represent a new and promising technology to secure the increasing energy demand in buildings and to achieve zero energy and emissions buildings in the near future, offering an aesthetic, economical and technical solution to integrate photovoltaic solar cells into buildings. This research is regarded as the one of its kind in Syria, it discusses the possibility of replacing 74m² of south-facing traditional glass windows in the building of the Syndicate of Engineers branch in Latakia, with polycrystalline photovoltaic windows, which produces 160 watts / square meters. We found through this research that using this type of windows is able to produce 59.2 kilowatts, which is a sufficient amount to cover the total electrical load for lighting and operating office equipment in the building, thus reaching a zero-energy building over a period of 30 to 35 years.

Key words:

Sustainability, building integrated photovoltaics (BIPVs), photovoltaic windows, solar energy, renewable energy, Zero energy-building.

الاهداء:

أهـدي هـذا البحـث إلــى مـن غمرونــي بالحـب والعطــاء وكــانوا لــي العـون والسند.....أبي وأمي وأختي.

إلى جميع أصدقائي.

إلــى كــل مــن علمنــي حرفــاً علــى مــدى ســنوات الدراســة كلهــا....إلى المعلمين جميعاً.

الشكر و التقدير:

أتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى كل من أسهم في إنجاز هذا البحث وأخص بالذكر:

الدكتورة ضحى جديد على ما بذلته من جهد وما قدمته من نصح وتوجيه وإرشاد فكل الشكر لأخلاقها الكريمة.

الدكتور بلال زعرور على حسن المتابعة والتوجيه وتقديم العون والمساعدة في هذا البحث فله كل الاحترام والتقدير.

الدكتورة سونيا أحمد كل الشكر والتقدير لتواجدها الدائم ودعمها ومساعدتها.

كما أتقدم بالشكر إلى الأساتذة أعضاء لجنة المناقشة للجهد الذي سيبذلونه في تقييم هذا البحث ليصبح على أكمل وجه.

شكر كبير لفرع نقابة المهندسين في اللاذقية ولكل العاملين فيها.

الفهرس:

قائمة الأشكال: ط
قائمة الجداول ي
قائمة الرموز ي
قائمة المصطلحات: ك

الفصل الأول: الإطار العام للبحث 1

1-1 المقدمة: 2
2-1 مشكلة البحث: 4
3-1 فرضية البحث: 4
4-1 أهمية البحث: 4
5-1 أهداف البحث: 4
6-1 منهج البحث: 5
7-1 مجتمع و عينة الدراسة: 5
8-1 حدود البحث: 5
الحدود المكانية: 5
الحدود الزمانية: 5
الحدود الموضوعية: 5
9-1 الدراسات السابقة: 6

الفصل الثاني: الإطار النظري للبحث 9

1-2 الطاقات المتجددة و أهميتها: 10
2-1-1 مزايا الطاقات المتجددة: 11
2-1-2عيوب الطاقات المتجددة: 12
2-2 دور الطاقة المتجددة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة: 12
2-2-1أمن الطاقة: 12
2-2-2التنمية الاجتماعية والاقتصادية: 13
2-2-3الوصول إلى الطاقة: 13

2-2-4التخفيف من آثار تغير المناخ والحد من الآثار البيئية والصحية: 14
2-3 الطاقة الشمسية و أهميتها: 14
2-4 تقنيات الطاقة الشمسية: 15
2-4-1 أنظمة الطاقة الحرارية الشمسية: 15
2-4-2 الخلايا الكهروضوئية الشمسية: 16
2-5 تطبيقات الأنظمة الكهرضوئية: 18
2-5-1 محطات مثبتة على أسطح الأبنية: 18
2-5-2 محطات مثبتة على الأرض: 18
2-5-3 مصفوفات مناسبة للزراعة تحتها: 19
2-5-4 تحويل زجاج المباني إلى ألواح شمسية: 19
2-6 الواجهات الزجاجية الكهرضوئية المدمجة مع البناء: 19
2-6-1 الية عمل الخلايا الكهرضوئية: 22
2-6-2 مراحل التطور التكنلوجي الكهروضوئي: 22
2-7 مكونات منظومة الطاقة الشمسية: 26
2-7-1 النوافذ الكهرضوئية: 26
2-7-2 وحدة التحكم في الشحن الشمسي (المنظم): 27
2-7-3 البطارية: 28
2-7-4 العاكس: 29
2-8 دور نمذجة معلومات البناء(BIM) في أنظمة الخلايا الكهرضوئية المدمجة مع البناء(BIPVs): 30

الفصل الثالث: القسم العملي 32

3-1 مقدمة: 33
3-2 توصيف المبنى: 34
3-3 حساب مساحة الواجهة الزجاجية القابلة للاستبدال بالخلايا الكهرضوئية المنتجة للطاقة: 36
3-4 حسابات الاستهلاك: 36
3-5 حساب الاستطاعة الناتجة عن النوافذ الشمسية الكهرضوئية: 37
3-6 حساب نظام البطاريات: 39
3-7 تحديد سعة العاكس INVERTER: 40

3-8 نمذجة لحساب النتائج المتوقعة من تطبيق هذه التقنية وفق موقع: _____ 40

الفصل الرابع: النتائج و التوصيات _____ 42

النتائج: _____ 43

التوصيات: _____ 43

المراجع: _____ 44

قائمة الأشكال:

الشكل (1)	مفهوم البناء صفري الطاقة
الشكل (2)	أنواع الطاقات المتجددة
الشكل (3)	الفرص التي تتيحها مصادر الطاقة المتجددة لتحقيق التنمية المستدامة
الشكل (4)	استهلاك الطاقة العالمي بمليارات الكيلوواط/ساعة
الشكل (5)	مخططات توضح المبادئ الأساسية لأربعة تكوينات أساسية للطاقة الشمسية المركزة
الشكل (6)	النمو العالمي للطاقة الشمسية الكهروضوئية
الشكل (7)	تطبيقات الأنظمة الكهرضوئية
الشكل (8)	الأشكال المختلفة للواجهات الكهرضوئية المدمجة مع البناء
الشكل (9)	رسم تخطيطي لبناء نظام كهروضوئي متكامل مع البناء
الشكل (10)	مكونات منظومة الطاقة الشمسية
الشكل (11)	آلية عمل الخلايا الكهروضوئية
الشكل (12)	مراحل التطور التكنلوجي الكهروضوئي
الشكل (13)	توليد الطاقة السنوي من نافذة كهروضوئية
الشكل (14)	موقع سوريا على خريطة العالم
الشكل (15)	شدة الاشعاع الشمسي لمدينة اللاذقية
الشكل (16)	مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية

الشكل (17)	نتائج محاكاة الحالة المدروسة على موقعONYX solar

قائمة الجداول

الجدول (1)	مزايا عيوب الخلايا الشمسية المختلفة
الجدول (2)	توصيف واستخدامات الغرف في الطابق الخامس
الجدول (3)	توصيف واستخدامات الغرف في الطابق السادس
الجدول (4)	الأحمال الموجودة في المبنى
الجدول (5)	نتائج النمذجة التي أجريت على موقع ONYX

قائمة الرموز

TC	درجة حرارة انتقال الطور
VOC	جهد الدارة المفتوحة
FF	عامل التعبئة
E	الحمل الكهربائي الكلي المطلوب في اليوم
P	قدرة الألواح الكهروضوئية
PSH	عدد ساعات الإشعاع الشمسي المفيد في اليوم
CF	معامل أمان
AH(bank)	السعة الكلية لنظام البطاريات
DOD	عمق تفريغ البطارية
AH(batteries)	سعة البطارية المختارة
N(batteries)	عدد البطاريات
VA(inv)	سعة العاكس

قائمة المصطلحات:

الخلايا الكهروضوئية المدمجة مع البناء	Building Integrated Photovoltaics	BIPV
المباني صفرية الطاقة	Net Zero Energy Buildings	NZEB
الخلايا الكهروضوئية	Photovoltaics	PV
الخلايا الكهروضوئية المرفقة مع البناء	Building applied/attached Photovoltaics	BAPV
مكونات توازن النظام	Balance of system	BOS
تعديل عرض النبضة	Pulse width modulated	PWM
ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى	Maximum Power Point Tracking	MPPT
بطاريات الرصاص المغمورة	Flooded Lead Asid	FLA
بطاريات الرصاص غير المغمورة	Valve Regulated Lead Asid	VRLA
نمذجة معلومات البناء	Building Information Modeling	BIM
الخلايا الشمسية السليكونية غير المتبلورة	Amorphous silicon solar cells	A-Si
تيلورايد الكادميوم	Cadmium telluride	CdTe
كبريتيد الكادميوم	Cadmium sulfide	CdS
نحاس– إنديوم– جاليوم– سيلينيد	Copper-Indium-Gallium-Selenide	CIGS
خلايا السيليكون متعدد البلورات	Polycrystalline	P-si
الخلايا الكهروضوئية العضوية	Organic solar cells	OPV
الخلايا الشمسية الصبغية الحساسة	dye-sensitized solar cells	DSSCs

الفصل الأول: الإطار العام للبحث

Chapter (1): Project Guidelines

ملخص الفصل:

يستعرض هذا الفصل الخطوط العريضة لمراحل تنفيذ المشروع، وتعريف مشكلة البحث والدراسة، أهمية المشروع و أهدافه، والدراسات السابقة و محددات انجاز المشروع المكانية والزمانية و التقنية و البشرية.

مخطط البحث:

1- مقدمة
2- مشكلة البحث
3- فرضية البحث
4- أهمية البحث:
5- أهداف البحث
6- منهج البحث
7- مجتمع وعينة الدراسة
8- حدود البحث
9- الدراسات السابقة

1-1 المقدمة:

عرف الانسان الطاقة منذ القدم فبحث عن مصادرها واستغلها لقضاء حاجياته اليومية، حيث شكلت انواع الوقود الاحفوري الثلاثة وهي الفحم والنفط والغاز أهم المصادر التي يعتمد عليها الناس حتى الان في انتاج الطاقة، فهي تشكل نحو 92% من اجمالي مصادر انتاج الطاقة بينما تشكل المصادر الأخرى ما يقارب نسبة 8% فقط [1].

حيث ذكرت وكالة الطاقة الدولية أن استهلاك الطاقة قد زاد بين عامي 1971 و 2010 أكثر من 46%، خاصة مع تنامي وتيرة التطورات التكنلوجية واحتياجاتها من مصادر الوقود التقليدي، من المتوقع أيضاً أن يزيد الطلب العالمي على الطاقة بمقدار الثلث من 2010 حتى 2035، بالتالي فإن تلبية الطلب على الطاقة سوف تشكل تحدياً حقيقياً في المستقبل، وذلك يعود لصعوبة الإمداد بالطاقة، قابلية نضوبها و التأثيرات السلبية لها على البيئة المتمثلة بزيادة انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون التي تساهم في زيادة الاحتباس الحراري، مما يؤدي الى تغير مناخ الأرض بشكل مهدد للحياة البشرية.

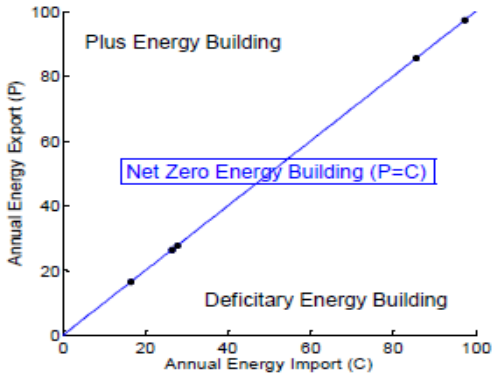
من المتوقع أن مناخ الأرض سيشهد تغيرًا ملحوظًا في غضون المائة عام القادمة بسبب هذه الانبعاثات،حيث تضاعف متوسط درجة الحرارة العالمية بشكل واضح مقارنة بالتوقعات لذلك تم وضع بروتوكولات وجداول أعمال دولية مختلفة تعهدت بإعادة متوسط درجة الحرارة العالمية إلى مستوى عام 1990. ونتيجة لذلك، شهدت سياسات الطاقة في جميع أنحاء العالم أيضًا تحولات مختلفة لتتماشى مع هذه البروتوكولات منذ ذلك الحين [2].

ومن أجل استدامة عملية التنمية، ينبغي أن يكون توصيل خدمات الطاقة آمناً وذو آثار منخفضة على البيئة. وتقتضي التنمية الاجتماعية والاقتصادية المستدامة تأمين سبل الوصول إلى موارد الطاقة الضرورية بأسعار معقولة لتوفير خدمات طاقة أساسية ومستدامة، لذلك فإنَّ أغلب المجتمعات بدأت بالسعي لتطبيق خدمات الطاقة البديلة لتلبية الاحتياجات الإنسانية الأساسية ولتقليل الاستهلاك العالي للطاقة في المباني لما له من دور في تحقيق امداد بالطاقة أكثر أمناً.

تعد الطاقات المتجددة بمصادرها المختلفة من أفضل الحلول البديلة عن الطاقة التقليدية وانتشر استخدامها كثيراً في السنوات الأخيرة، يمكن لمصادر الطاقات المتجددة مثل الكتلة الحيوية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الأرضية أن توفر خدمات طاقة مستدامة بناءً على استخدام الموارد المحلية المتاحة بشكل روتيني، حيث توفر هذه المصادر حاليًا ما بين 15٪ و20٪ من إجمالي الطلب العالمي على الطاقة [3].

تطورت تقنيات الطاقات المتجددة حيث تم دمج تكنولوجيات الطاقات المتجددة في كل من هياكل الابنية الجديدة و القائمة بتقنية الخلايا الكهرضوئية المتكاملة مع البناء (BIPVs)، حتى وصلت بعض الدول لإنشاء أبنية تعتمد بشكل كامل على الطاقات المتجددة في إنتاج حاجتها من الطاقة وتعرف باسم المباني صفرية الطاقة Net Zero Energy Buildings (NZEBs) أي أن إجمالي الطاقة التي يستهلكها المبنى على مدار السنة يساوي تقريباً كمية الطاقة المتجددة التي ينتجها و هذا سيساهم بتقليل غازات الاحتباس الحراري المنبعثة في الغلاف الجوي [4].

يبين الشكل (1) توازن الطاقة الصفري على أساس سنوي، يتضح لنا أنه حتى لو استقبل البناء الطاقة من الشبكات الكهربائية أو الغازية في بعض الأوقات، فإن أنظمته المحلية تنتج وتصدر الطاقة إلى الشبكات في أوقات أخرى بحيث يصبح الرصيد السنوي حوالي صفر.



الشكل (1) مفهوم البناء صفري الطاقة [5]

أصبحت الطاقة الشمسية في السنوات الأخيرة محطاً للأنظار، ومن المحتمل أن يكون لها مساهمة كبيرة جداً في توليد الكهرباء في المستقبل، من خلال تطبيقاتها المختلفة التي كان من أحدثها النوافذ الكهرضوئية، بالنسبة للمباني، يتم تبادل أكثر من 50% من الطاقة من خلال النوافذ عن طريق التوصيل والحمل الحراري والإشعاع. و لتقليل استهلاك الطاقة، يجب تطوير هياكل جديدة للأسطح الزجاجية لتعزيز خصائص العزل الحراري حيث أن توفير الطاقة عن طريق النوافذ يلعب دوراً هاماً وحاسماً في بناء مشاريع موفرة للطاقة [6].

لعبت أنظمة النوافذ بجميع أشكالها دوراً رئيسياً في إنشاء كل من البيئات الحرارية والمضيئة داخل المباني. فقد تم استخدام استراتيجيات مختلفة لتحسين الأداء الحراري والبصري لأنظمة النوافذ، كان من

أفضلها العمل على جعل النوافذ منتجة للطاقة بالاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة وذلك بدلا من العمل على عزلها وتخفيض معامل انتقال الحرارة فيها فقط.

سنقوم بهذا البحث بدراسة إمكانية استبدال النوافذ الزجاجية التقليدية لمبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية بنوافذ كهروضوئية وذلك من أجل تغطية الأحمال الكهربائية التي يحتاجها المبنى عن طريق هذه النوافذ للوصول الى مبنى صفري الطاقة.

2-1 مشكلة البحث:

تعاني سورية حاليا من استنزاف مواردها بشكل كبير بالإضافة للأضرار الجسيمة التي لحقت بمحطات الطاقة، مما فرض البحث عن مصادر جديدة و متجددة للطاقة، فكان الحل الأفضل هو الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمختلف تطبيقاتها، ويعتبر تكامل انتاج الطاقة الشمسية الكهروضوئية مع البناء من الحلول الواعدة، حيث بالنسبة للأبنية البرجية فإن مساحة تركيب الألواح الشمسية على الأسطح قد تكون غير كافية لتركيب الألواح المنتجة للاستطاعة المطلوبة من الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتحقيق الهدف المتمثل بتغطية أكبر كمية ممكنة من الحمل الكهربائي للمبنى.

3-1 فرضية البحث:

يفترض هذا البحث إمكانية استبدال واجهات المباني الزجاجية العادية بواجهات أو نوافذ كهروضوئية قادرة على توليد طاقة كهربائية تغطي حمل المبنى، وذلك بدلاً من وضع الألواح على أسطح الأبنية أو على الأرض.

4-1 أهمية البحث:

إن وجود النوافذ والواجهات في المباني يرفع تكاليف الطاقة اللازمة لتدفئتها وتبريدها بنحو 30%. تكمن أهمية هذا البحث بكونه يقترح استبدال هذه الواجهات التقليدية بواجهات منتجة للطاقة الكهربائية، مما يؤدي لتوفير حاجة المبنى من الطاقة عن طريق مصادر طاقة متجددة ونظيفة.

5-1 أهداف البحث:

1- ترشيد استهلاك الطاقة في المباني.

2- التأكيد على أهمية الاستعانة بالطاقات المتجددة كونها طاقات نظيفة وغير قابلة للنفاذ.

3- تحويل الواجهات الزجاجية للمباني إلى مصادر منتجة للطاقة بالاعتماد على الطاقة الشمسية لتصبح قادرة على تأمين حاجة المبنى من الكهرباء.
4- المساهمة بتخفيض انبعاثات غازات الاحتباس الحراري مع بيان ألأثر على البيئة والمجتمع.
5- تشجيع الاستثمار في هذه المشاريع وخاصة في الظروف الراهنة وأزمات الطاقة العالمية.

1-6 منهج البحث:

1- منهج وصفي تحليلي من خلال:

دراسة نظرية: عن طريق عرض نظري للمفاهيم الأساسية للطاقات المتجددة ودورها الكبير في مستقبل البلاد وجمع بيانات عنها.

دراسة تحليلية مقارنة: عن طريق عرض الأثر الايجابي للطاقة الشمسية وإجراء مقارنة بين استهلاك المبنى من الطاقة قبل وبعد اعتماد النوافذ الكهرضوئية.

2- منهج تجريبي:

دراسة عملية لمبنى نقابة المهندسين في اللاذقية في حال قمنا بتطبيق النوافذ الكهرضوئية.

1-7 مجتمع وعينة الدراسة:

تمت الدراسة في سورية على مبنى نقابة المهندسين الموجود في اللاذقية والذي يتكون من ست طوابق بواجهات زجاجية غربية وجنوبية.

1-8 حدود البحث:

الحدود المكانية: تمت الدراسة في الجمهورية العربية السورية محافظة اللاذقية على مبنى نقابة المهندسين.

الحدود الزمانية: تم البدء بهذه الدراسة في ايلول عام 2022.

الحدود الموضوعية: تتلخص هذه الحدود بالتركيز على نقطتين اساسيتين هما:

1- الزيادة الكبيرة لاستهلاك الطاقة في قطاع البناء.
2- أهمية استخدام الطاقة الشمسية في الأبنية.

1-9 الدراسات السابقة:

قام الباحث بينغ واخرون في الصين بتقسيم الخلايا الكهرضوئية من حيث تواجدها في البناء إلى خلايا كهروضوئية مرفقة مع البناء Building applied/attached PV (BAPVs) و خلايا كهروضوئية متكاملة مع البناء BIPVs، حيث خلصوا الى أن BAPVs تتم إضافتها إلى المبنى وليس لها تأثير مباشر على وظائف الهيكل أما BIPVs هي وحدات PV يمكن دمجها في غلاف المبنى (في السطح أو الواجهة) لتحل محل مواد البناء التقليدية، لذلك لها تأثير على وظائف المبنى ويمكن اعتبارها جزءًا لا يتجزأ من نظام الطاقة للمبنى فهي متعددة الوظائف تولد الكهرباء بينما تعمل أيضًا كمواد بناء، قاموا أيضاً بدراسة جوانب التصميم المعماري لأنظمة BIPV ، بما في ذلك كيفية تصميم هذه الأنظمة وعمرها، وما إذا كان سيتم اختيار BIPV أو BAPV. صمم المؤلفون هيكلًا جديدًا للتركيب لحل المشكلات المتعلقة بصيانة واستبدال المكونات الكهروضوئية. وتوصلوا إلى أن الوظيفة والتكلفة والتكنولوجيا والجماليات أكثر أهمية من التكامل العالي، ونظراً لانخفاض عمر الخلايا الكهروضوئية مقارنة بعمر المباني (50 عامًا)، يجب أن تركز الهياكل والتصميمات الكهروضوئية على صيانة واستبدال وحدات الخلايا الكهروضوئية بدلاً من مجرد إطالة عمرها [7].

أجريت دراسة من قبل الباحث جيلي وآخرون حول المسارات والفرص البحثية لأنظمة الخلايا الكهرضوئية المدمجة بالبناء BIPV في المستقبل، وتمت مناقشة تقدم تطوير الخلايا الكهرضوئية Photovoltaic (PV) وتأثيره على BIPVs ، ناقشت هذه الدراسة المواد والحلول الجديدة لـ BIPVsومتانتها طويلة الأجل بالتفصيل. وتم اعتبار تكلفة الإنتاج المنخفضة والتأثيرات البيئية المنخفضة والكفاءة العالية من العوامل الرئيسية لأنظمة BIPV المستقبلية. ذكر الباحثون أن التعديل التحديثي والتركيب السهل نسبيًا لمركبات BIPVs مهمان للغاية بسبب الحجم الهائل للمباني القائمة. كما أكدوا على أن الإعانات الحكومية لها أهمية كبيرة لجذب انتباه الصناعة، وأن النوافذ الشمسية الكهروضوئية بشكل خاص توفر فرصاً كبيرة، لأنها توفر التظليل الشمسي ونقل ضوء النهار وإنتاج الكهرباء [8].

أُعدت دراسة من قبل كل من الباحثين لو والباحث لاو في هونغ كونغ حول تطوير منهجية لتقدير أداء الطاقة الإجمالي للنافذة الكهروضوئية شبه الشفافة ذات الزجاج المفرد. تم أخذ خمسة اتجاهات مختلفة في الاعتبار في عمليات المحاكاة وهي الجنوب والجنوب الشرقي والجنوب الغربي والشرق والغرب، قاموا بتطوير غرفة مكتب عامة لتكون بمثابة دراسة حالة للتقييم. يقع المكتب المرجعي في الطابق 25 من مبنى إداري مواجه للجنوب بأبعاد (4.5 × 3.5×3)، مساحة النافذة (3 × 2) تم تركيب ثلاث

وحدات كهروضوئية شبه شفافة (270 W) على النافذة. أبعاد الوحدة الواحدة (0.7×1.52 × 0.009).

تم إجراء المحاكاة في ثلاثة أجزاء: نموذج نقل الحرارة العابر أحادي البعد، ونموذج توليد الطاقة، ونموذج الإضاءة الداخلية لضوء النهار. أظهرت النتائج أن إجمالي اكتساب الحرارة من النوافذ يمكن أن ينخفض بحوالي 65٪ عند استخدام BIPVs شبه الشفافة. تم تحويل هذا التخفيض بعد ذلك إلى استهلاك الطاقة لنظام تكييف الهواء. كشفت الحسابات عن انخفاض قدره 900 كيلو وات في الساعة و 1300 كيلو وات في الساعة لأنظمة تكييف الهواء المبرد بالماء والهواء على التوالي. تراوحت كميات توليد الطاقة بين 40 و 80 كيلو واط ساعة / م². وقد اتضح من النتائج أن أكبر توفير تم بفضل تقليل حمل التبريد، لا يمكن أن ينتج عن استخدام النوافذ الزجاجية شبه الشفافة طاقة نظيفة فحسب، بل يقلل أيضًا من استخدام طاقة المبنى عن طريق تقليل حمل التبريد ومتطلبات الإضاءة الكهربائية، مما يفيد بالتأكيد الجوانب البيئية والاقتصادية [9].

قام الباحث ليو والباحث داون بتقديم طريقة تقييم كفاءة الطاقة لأنظمة BIPV، حيث تم تقديم التكوين في ظل ظروف مختلفة لتقييم كفاءات الطاقة الخاصة بهم من الناحية الكمية، تمثل الحالة الأولى إشعاع قوي وظل طفيف، وتمثل الحالة الثانية إشعاع قوي وظل شديد، وتمثل الحالة الثالثة إشعاع ضعيف وظل خفيف، وتمثل الحالة الرابعة إشعاع ضعيف وظل شديد. وُجد أنّ الحد الأقصى للطاقة المتاحة للنظام لتكون 5315.6 واط للحالة الأولى، و 2818 واط للحالة الثانية و 195.43واط للحالة الثالثة، و 60.17 واط للحالة الرابعة، أشارت النتائج إلى أن المحولات المتكاملة يمكنها جعل كل خلية كهروضوئية في وحدة التيار المتناوب في نظام الأبنية الكهروضوئية القائمة على التيار المستمر أن تستمر بالعمل في نقطة الطاقة القصوى الخاصة بها، تبين أيضًا أن الأنظمة القائمة على وحدة التيار المتناوب والأنظمة القائمة على photovoltaic DC building module (PV-DCBM) كانت أكثر الحلول ملاءمة لأنظمة BIPV نظرًا لميزاتها الفائقة في مكافحة التظليل وعدم التطابق مقارنة بتكوينات أخرى [10].

قدم الباحث طوني وآخرون في هذه المراجعة وصفًا تفصيليًا للوضع الحالي لأبحاث الخلايا الشمسية القائمة على البيروفسكايت والتقدم المحرز، حيث ناقشوا النهج الجديدة الحالية في تركيب البيروفسكايت والطرق المختلفة لتحضير الجهاز جنبًا إلى جنب مع التغييرات التي لوحظت في أداء الجهاز. أبرزت المراجعة أيضًا التحديات التي تواجه أبحاث البيروفسكايت كممتص للطاقة الشمسية، لاحظ الباحثون ان ماصات الطاقة الشمسية من البيروفسكايت تعاني من عدم استقرار جوهري يؤدي إلى تدهور سريع عند تعرضها للماء والأكسجين والأشعة فوق البنفسجية ودرجات الحرارة المرتفعة، اعتبروا أنه من

الأهمية بمكان حماية فيلم البيروفسكايت من هذه العوامل لإطالة عمره وجعله ممكنًا لتصنيع الأجهزة على نطاق واسع، حقق تغطية فيلم البيروفسكايت غير المستقر بيئيًا بطبقة رقيقة جدًا من Al2O3 بعض النجاح في زيادة عمر الأجهزة، كما تم العثور على يوديد بيروفسكايت (CH3NH3PbI3) وبروميد بيروفسكايت (CH3NH3PbBr3) ليكونا أفضل وسط لحصاد الفوتونات في خلايا بيروفسكايت الشمسية نظرًا لمعامل التخامد العالي وكفاءة تحويل الفوتون إلى التيار. توصل الباحثون إلى العديد من النتائج حول اختيار الطبقات البينية المختلفة، فقد تم استخدام كل من المواد العضوية وغير العضوية كطبقات عازلة بينية لتسهيل جمع الشحنات من الوسط الضوئي إلى الأقطاب الكهربائية المقابلة [11].

حظيت الطلاءات الذكية القائمة على ثاني أكسيد الفاناديوم VO2 باهتمام كبير من قبل الباحثين حيث درس كل من الباحثين شون وبينغ تطوير هياكل ثاني أكسيد الفاناديوم VO2 للأسطح الزجاجية لتعزيز خصائص العزل الحراري في النوافذ الذكية. حيث أظهرت مادة VO2 الحرارية تغيرًا بصريًا ملحوظًا من الشفافية إلى الانعكاس في الأشعة تحت الحمراء عند انتقال أشباه الموصلات إلى المرحلة المعدنية، لكن للتطبيق التجاري كطلاءات ذكية على النوافذ لا تزال هناك العديد من العقبات حيث أن درجة حرارة انتقال الطور Tc للكتل النقي VO2 هي 68 درجة مئوية وتعد مرتفعة جدًا بحيث لا يمكن تطبيقها على نوافذ المباني إنما تكون مقبولة عندما تكون Tc=40°. وبالنسبة لطلاءات VO2 التقليدية، فإن قدرات التعديل النسبية ليست فعالة بما يكفي لتوفير الطاقة. يمكن تفسير ذلك من خلال حقيقة أن تعديل VO2 للإشعاع الشمسي يُعزى بشكل كبير إلى مفتاح النفاذية في منطقة الأشعة تحت الحمراء القريبة، والتي تمثل 43٪ فقط من الطاقة الشمسية في الطيف الشمسي [6].

قام كل من الباحث كاتو واخرون بالتوصل إلى تحقيق كفاءة قياسية جديدة تم التحقق منها بشكل مستقل للخلايا الشمسية متعددة الكريستالات (البولي كريستالين) ذات الأغشية الرقيقة بنسبة 22.9 ٪ على خلية شمسية نحاس – إنديوم – جاليوم – سيلينيد (CIGSSe) بحجم 1 سم² من خلال تعديل تكوين الامتصاص بالتزامن مع معالجة المعادن القلوية الثقيلة (Cs) على سطح الممتص. أشارت نتائج توصيف المادة إلى تحسين جودة الامتصاص من خلال تعديل الامتصاص، حيث افترض الباحثون أن تحسين جودة الامتصاص يُعزى إلى انخفاض كثافة الشائبة وإعادة تركيب الناقل، خلص الباحثون إلى أن التحسينات الملحوظة في Voc و FF أدت إلى هذه الكفاءة المحطمة للأرقام القياسية، حيث تم تأكيد نفس الكفاءة على أجهزة مختلفة تم تصنيعها بنفس العملية مما يشير إلى قابلية استنساخ عالية واستقرار في العمليات الجديدة [12].

الفصل الثاني: الإطار النظري للبحث

Chapter (2): The Theoretical Framework

ملخص الفصل:

يستعرض هذا الفصل شرحا عن الطاقات المتجددة وميزاتها و عيوبها وأهم أنواعها، والطاقة الشمسية و أهم تطبيقاتها مع التركيز على النوافذ الكهرضوئية المدمجة بالبناء و شرح لمكونات المنظومات الشمسية.

مخطط الفصل:

1- الطاقات المتجددة وأهميتها
2- دور الطاقة المتجددة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة
3- الطاقة الشمسية وأهميتها
4- تقنيات الطاقة الشمسية
5- تطبيقات الأنظمة الكهرضوئية
6- الواجهات الزجاجية الكهرضوئية المدمجة مع البناء
7- مكونات منظومة الطاقة الشمسية
8- دور نمذجة معلومات البناء (BIM) في أنظمة الخلايا الكهرضوئية المدمجة مع البناء (BIPVs)

1-2 الطاقات المتجددة وأهميتها:

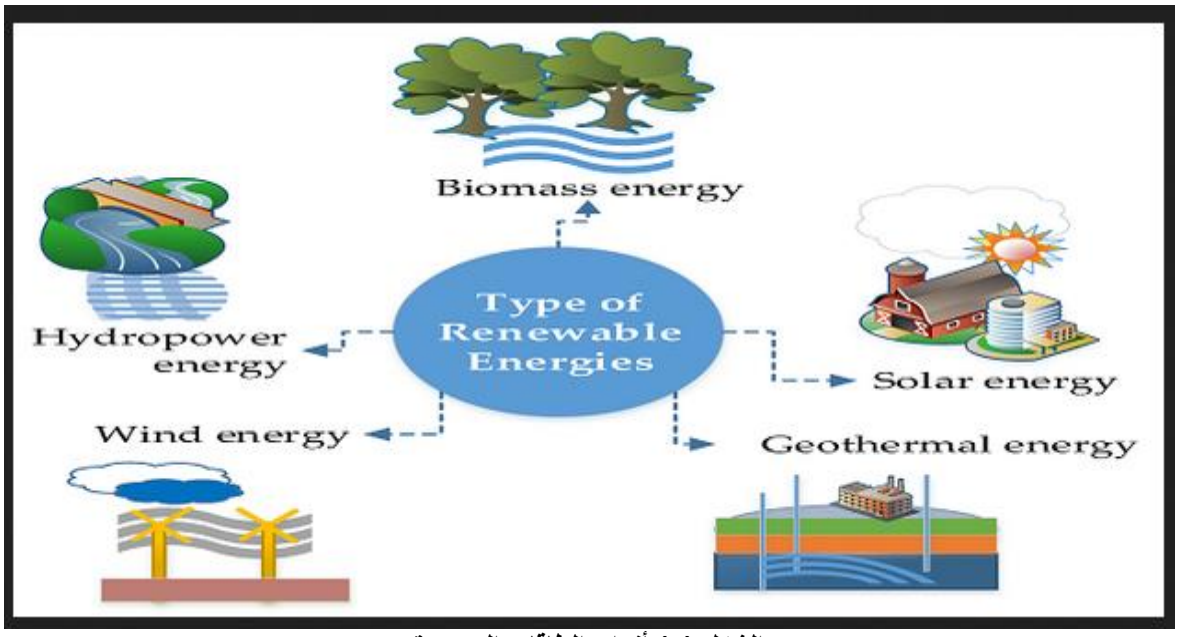
الطاقة المتجددة هي أي شكل من أشكال مصادر الطاقة الشمسية أو الجيوفيزيائية أو البيولوجية التي تعيد العمليات الطبيعية تزويدها مجددا بمعدل يساوي أو يفوق معدل استخدامها، تتحصل الطاقة المتجددة من التدفقات المستمرة أو المتكررة للطاقة التي تحدث في البيئة الطبيعية وتشمل مواردا مثل الكتلة الأحيائية، والطاقة الشمسية، والطاقة الحرارية الأرضية، والطاقة الكهرومائية، وموجات المد والجزر، والطاقة الحرارية البحرية وطاقة الرياح.

أدى الاستخدام الحالي للغاز الطبيعي والوقود الأحفوري إلى جانب زيادة عدد سكان العالم إلى إساءة استخدام موارد الأرض واستنفادها، فالطريقة التي نستهلك بها الوقود الأحفوري مخيفة للغاية، والنقطة الأكثر إثارة للخوف هي حقيقة أنه خلال العقدين الماضيين ارتفع استهلاك الوقود الأحفوري بشكل كبير مما أدى إلى تضاءل احتياطيات النفط في جميع أنحاء العالم، يعتمد إنتاج الطاقة حاليًا بشكل كبير على النفط والوقود، مما يساهم في انبعاث غازات الاحتباس الحراري، إن إطلاق الملوثات في الغلاف الجوي له عواقب وخيمة، بما في ذلك الاحترار العالمي، لذلك من الضروري حماية كوكب الأرض من خلال دمج مصادر الطاقة المتجددة والصديقة للبيئة في حياتنا اليومية [13].

زاد انتشار الطاقة المتجددة بوتيرة مطردة في غضون السنوات الأخيرة، وفي معظم الأحوال، فإن زيادة حصة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة سيقتضي اتباع سياسات لإحداث تغييرات في منظومة الطاقة، ورغم أن حصة الطاقة المتجددة مازالت صغيرة نسبياً، إلا أنها تحل محل الوقود التقليدي في أربعة مجالات متميزة: توليد الطاقة، والمياه الساخنة، ووقود النقل، وخدمات الطاقة الريفية، ففي عام 2008، جاء حوالي 19٪ من الاستهلاك العالمي النهائي للطاقة من مصادر متجددة، تعد سنة 2018 هي السنة التي قفزت فيها الاستثمارات العالمية في الطاقات المتجددة قفزة نوعية، فرغم البدايات الضعيفة لهذه الاستثمارات قبل عام 2010، إلا أن الإدراك العالمي بأن الاستثمار في هذا النوع من الطاقة هو ركيزة الاستثمار المستدام في المستقبل و هو الذي يؤدي إلى المحافظة على البيئة أدى إلى إيلائه العناية القصوى.

تضاعفت قدرة إنتاج الطاقة المتجددة بين عامي 2010 و 2019 إلى أربعة أضعاف، وقدرة الانتاج من الطاقة الشمسية خلال نفس الفترة السابقة إلى أكثر من 26 ضعف، كما بلغ حجم الاستثمار في عام 2018 ثلاثة أضعاف الاستثمار في توليد الوقود الاحفوري، ولدت مصادر الطاقة المتجددة 12.9في المائة من الكهرباء العالمية في عام 2018، وأدت إلى تجنب ملياري طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، حيث قفز حجم الاستثمارات من 40.6 مليار دولار إلى 308.9 مليار دولار

لسنة 2017 وهي السنة التي بلغت فيها الاستثمارات ذروتها، أي ما يعادل 8 أضعاف، وهذا ما يدل على الاهتمام العالمي بهذا النوع من الاستثمارات [1]، ويُظهر الشكل (2) أشكال مختلفة من الطاقات المتجددة.



الشكل (2) أنواع الطاقات المتجددة

2-1-1 مزايا الطاقات المتجددة:

تمتلك الطاقات المتجددة العديد من المزايا، يأتي في المقام الأول حماية البيئة حيث أن مصادر الطاقة المتجددة مسؤولة عن صفر أو ما يقرب من الصفر في المائة من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وغيرها من ملوثات الهواء، كما أنها مستدامة وغير قابلة للنفاذ وموجودة في كل مكان في العالم.

ميّزة أخرى للطاقات المتجددة تتجلى في تشجيع التنمية الاقتصادية وهي تطوير قطاع الطاقة وجميع الأنشطة ذات الصلة المتعلقة بهذه الصناعة. إن التغيرات التكنولوجية والابتكارات، فضلاً عن التطوير التدريجي لتقنيات الطاقة المتجددة تزيد الطلب على القوى العاملة المؤهلة، وبالتالي تعزز فرص العمل بشكل مباشر.

بالإضافة لذلك، فإن وجود مصادر الطاقة المتجددة في المناطق الريفية وخاصة تلك المتخلفة، يمكن أن يساهم في تنميتها الاقتصادية، إن توسيع شبكة الكهرباء في المناطق الريفية ليس مجديًا اقتصاديًا بسبب ارتفاع تكاليف توزيع الكهرباء. لذلك، فإن الكهرباء المنفصلة عن الشبكة والتي يتم إنتاجها في النظام الهجين لموارد الطاقة المتجددة تتيح عملية كهربة الريف وتجلب الفوائد للمجتمع [14] [15].

2-1-2عيوب الطاقات المتجددة:

بالإضافة إلى المزايا المتعددة لاستخدام مصادر الطاقة المتجددة، تجدر الإشارة إلى وجود عيوب وقيود معينة في استخدامها اليومي، يرجع ذلك في المقام الأول إلى سماتها الطبيعية أن المصادر المتجددة تعتمد كليًا على الموقع الجغرافي والظروف الجوية، أي أن تقلب المصدر المتجدد وعدم القدرة على التنبؤ به يمثل قيدًا وصعوبة كبيرة في توليد الكهرباء، تفتقر أيضاً المصادر المتجددة إلى القدرة على إنتاج كميات كبيرة من الكهرباء مقارنةً بمحطات الطاقة التي تعمل بالوقود الأحفوري، حيث أن محطات الطاقة المتجددة يجب أن يكون لها مساحة أكبر بكثير من محطات الطاقة الحرارية من أجل إنتاج نفس الكمية من الكهرباء، ولها أيضًا كفاءة طاقة أقل نسبيًا.

تعمل المصادر المتجددة عمومًا لفترة زمنية أقصر في الساعات في سنة واحدة بكامل طاقتها (حوالي 2000 ساعة في السنة)، مقارنة مع محطات الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري (التي تعمل 7500 ساعة في السنة) عند الطاقة المركبة الكاملة. ومن العيوب التي تترافق أيضاً مع الاستخدام المتزايد لمصادر الطاقة المتجددة، التكلفة العالية نسبيًا لإنتاج الكهرباء، بالإضافة إلى التلوث البصري، الرائحة الصادرة من الكتلة الحيوية، وفيات الطيور والخفافيش بسبب عنفات الرياح، والمحلول الملحي من الطاقة الحرارية الأرضية [14] [15].

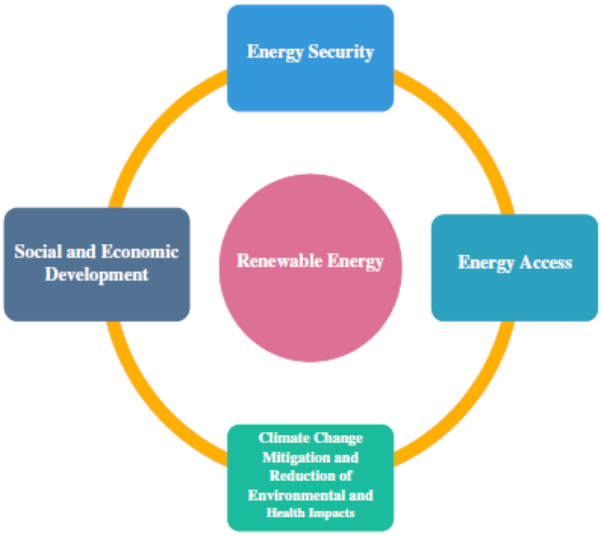
2-2 دور الطاقة المتجددة في تحقيق أهداف التنمية المستدامة:

الطاقة المتجددة لها علاقة مباشرة بالتنمية المستدامة من خلال تأثيرها على التنمية البشرية والإنتاجية الاقتصادية حيث توفر مصادر الطاقة المتجددة فرصًا في أمن الطاقة، التنمية الاجتماعية والاقتصادية، الحصول على الطاقة وتخفيف تغير المناخ والحد من الآثار البيئية والصحية [16]. ويبين الشكل (3) الفرص التي توفرها الطاقة المتجددة لتحقيق التنمية المستدامة.

2-2-1 أمن الطاقة:

إن الاهتمام بأمن الطاقة يعتمد على فكرة أن هناك إمداداً مستمراً للطاقة وهو أمر بالغ الأهمية لإدارة الاقتصاد، كما أن الوصول إلى إمدادات طاقة مستقرة أمر مهم أيضاً للعالم السياسي وتحدي تقني ومالي لكل من البلدان المتقدمة والنامية، إن مصادر الطاقة المتجددة موزعة بالتساوي في جميع أنحاء العالم مقارنة بالوقود الأحفوري، وبشكل عام تعد أقل تداولاً في السوق. تقلل الطاقة المتجددة من واردات الطاقة وتساهم في تقليل تعرض الاقتصاد لتقلبات الأسعار وتمثل فرصاً لتعزيز أمن الطاقة في جميع أنحاء العالم. يمكن أن يساهم إدخال الطاقة المتجددة أيضاً في زيادة موثوقية خدمات الطاقة،

لتكون محددة في المناطق التي غالباً ما تعاني من عدم كفاية الوصول إلى الشبكة. يمكن أن تساعد مجموعة متنوعة من مصادر الطاقة جنباً إلى جنب مع الإدارة الجيدة والنظام الجيد على تعزيز أمن الطاقة [17].



الشكل (3) الفرص التي تتيحها مصادر الطاقة المتجددة لتحقيق التنمية المستدامة [17]

2-2-2 التنمية الاجتماعية والاقتصادية:

بشكل عام، يُنظر إلى قطاع الطاقة على أنه مفتاح التنمية الاقتصادية مع ارتباط قوي بين النمو الاقتصادي والتوسع في استهلاك الطاقة. وعلى الصعيد العالمي، يرتبط دخل الفرد ارتباطاً إيجابياً باستخدام الفرد للطاقة، ويمكن تحديد النمو الاقتصادي باعتباره العامل الأكثر أهمية وراء زيادة استهلاك الطاقة في العقود الماضية. وهي بدورها تخلق فرص عمل، حيث أثبتت دراسة الطاقة المتجددة في عام 2008 أن التوظيف من تقنيات الطاقة المتجددة كان حوالي 2.3 مليون وظيفة في جميع أنحاء العالم، مما أدى أيضاً إلى تحسين الصحة والتعليم والمساواة بين الجنسين والسلامة البيئية [17].

3-2-2 الوصول إلى الطاقة:

يسعى هدف التنمية المستدامة السابع (طاقة نظيفة وبأسعار معقولة) إلى ضمان أن تكون الطاقة نظيفة وبأسعار معقولة ومتاحة ومتوفرة للجميع ويمكن تحقيق ذلك من خلال مصادر الطاقة المتجددة، حيث يتم توزيعها بشكل عام في جميع أنحاء العالم [17].

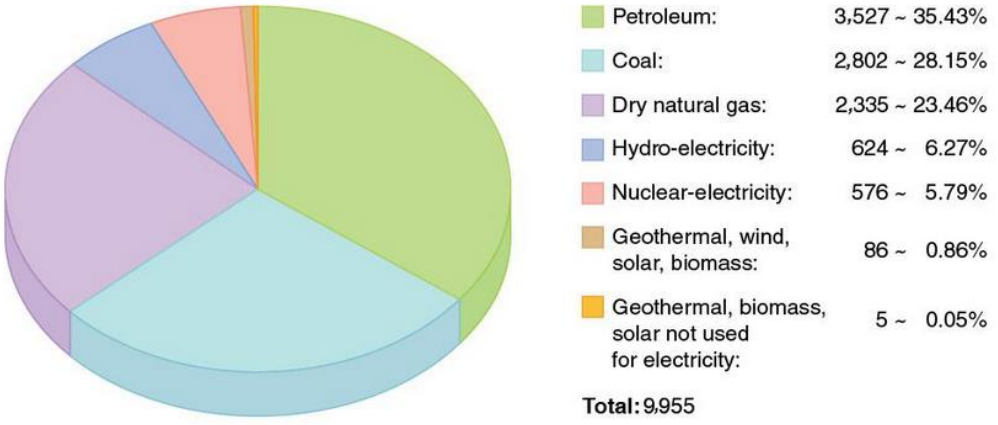
4-2-2 التخفيف من آثار تغير المناخ والحد من الآثار البيئية والصحية:

تساعد مصادر الطاقة المتجددة المستخدمة في توليد الطاقة على تقليل غازات الاحتباس الحراري التي تخفف من تغير المناخ، وتقلل من المضاعفات البيئية والصحية المرتبطة بالملوثات من مصادر الطاقة من الوقود الأحفوري [17].

3-2 الطاقة الشمسية وأهميتها:

الطاقة الشمسية هي المورد المتجدد الأكثر وفرة على كوكبنا ولدى معظم كوكب الأرض القدرة على جمع قدر من الطاقة الناتجة عن الشمس، تتميز الطاقة الشمسية بأنها غير ملوثة، ولا تنتج غازات دفيئة مثل الطاقة القائمة على الوقود الأحفوري، ولا تخلق نفايات يجب تخزينها مثل الطاقة النووية، كما أنها أكثر هدوءاً في الإنشاء والتسخير، مما يقلل بشكل كبير من الضوضاء الناتجة عنها، كما أن أنظمة الطاقة الشمسية ذات الحجم السكني لها تأثير ضئيل للغاية على البيئة المحيطة، على عكس مصادر الطاقة المتجددة الأخرى مثل طاقة الرياح والطاقة الكهرومائية. بالإضافة لأن الألواح الشمسية لا تحتوي على أجزاء متحركة وتتطلب القليل جداً من الصيانة ما عدا التنظيف المنتظم. لكن وعلى الرغم من وفرتها وميزاتها العديدة، فإن 0.04 ٪ فقط من الطاقة الأساسية التي يستخدمها البشر تأتي مباشرة من مصادر الطاقة الشمسية [13].

يبين الشكل (4) نسب استهلاك الطاقة العالمية، حيث نرى أن مجموع ما تقدمه كل من الطاقة الحرارية الأرضية وطاقة الرياح والطاقة الشمسية والكتلة الحيوية هو 0.86 % وهي نسبة قليلة جداً مقارنة بالنسب التي تقدمها أنواع الطاقات الأخرى.



الشكل (4) استهلاك الطاقة العالمي ، بمليارات الكيلوواط / ساعة

الطاقة الشمسية لديها إمكانات نظرية هائلة لكن ولعدة أسباب، فإن الإمكانات الفعلية للطاقة الشمسية أقل إلى حد ما من المتوقع.

يعتمد توفر الطاقة الشمسية على عدة عوامل منها: خط العرض، حيث تتلقى المناطق القريبة من خط الاستواء إشعاعًا شمسيًا أكثر من المناطق شبه القطبية، الطقس هو عامل آخر وأقوى، يؤثر على توافر الطاقة الشمسية بسبب اختلاف متوسط نقاء السماء من مكان لآخر كما أن توافر الأراضي بمساحات جيدة يساعد على زيادة حجم المحطات المقامة وبالتالي زيادة حجم الانتاج من الطاقة.

هناك مجموعة متنوعة من تقنيات الطاقة الشمسية يمكنها المساهمة في خدمات الطاقة في معظم مناطق العالم. على الرغم من أن توليد الطاقة الشمسية لا يزال يمثل جزءًا صغيرًا فقط من إجمالي استهلاك الطاقة، إلا أن أسواق تقنيات الطاقة الشمسية تنمو بسرعة. ويتمثل جزء كبير من الرغبة في استخدام تكنولوجيا الطاقة الشمسية في عبئها البيئي الأصغر حجماً والفرصة التي توفرها للتأثيرات الاجتماعية الإيجابية [18].

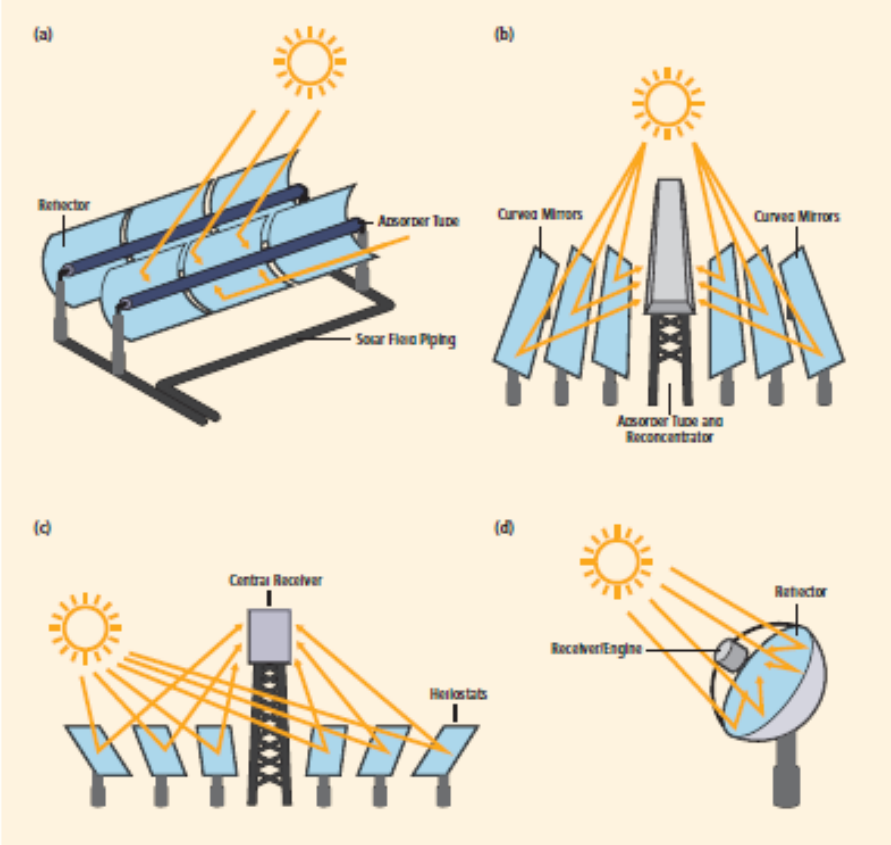
2-4 تقنيات الطاقة الشمسية:

2-4-1 أنظمة الطاقة الحرارية الشمسية:

تستخدم أنظمة الطاقة الحرارية الشمسية تقنيات مختلفة لتركيز ضوء الشمس لتسخين سائل وسيط، يُعرف باسم سائل نقل الحرارة الذي يستخدم بعد ذلك لتوليد البخار، ثم يتم استخدام البخار في العنفات البخارية التقليدية لتوليد الكهرباء. في الوقت الحالي هناك عدة أنظمة للطاقة الحرارية الشمسية يتم تطويرها حالياً: أحواض مكافئة وأبراج طاقة وأنظمة أطباق/محركات.

نظراً لأن هذه التقنيات تتضمن وسيطاً حرارياً، فيمكن تهجينها بسهولة باستخدام الوقود الأحفوري وفي بعض الحالات تكييفها لاستخدام التخزين الحراري. الميزة الأساسية للتهجين والتخزين الحراري هي أن التقنيات يمكن أن توفر طاقة قابلة للنشر وتعمل خلال الفترات التي لا تتوفر فيها الطاقة الشمسية. يمكن أن يؤدي التهجين والتخزين الحراري إلى تعزيز القيمة الاقتصادية للكهرباء المنتجة وتقليل متوسط تكلفتها [3].

يوضح الشكل (5) أشكال أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية المختلفة، حيث a: حوض مكافئ b: عاكس فريسنل الخطي، c: برج طاقة مركزي، d: أنظمة الأطباق.



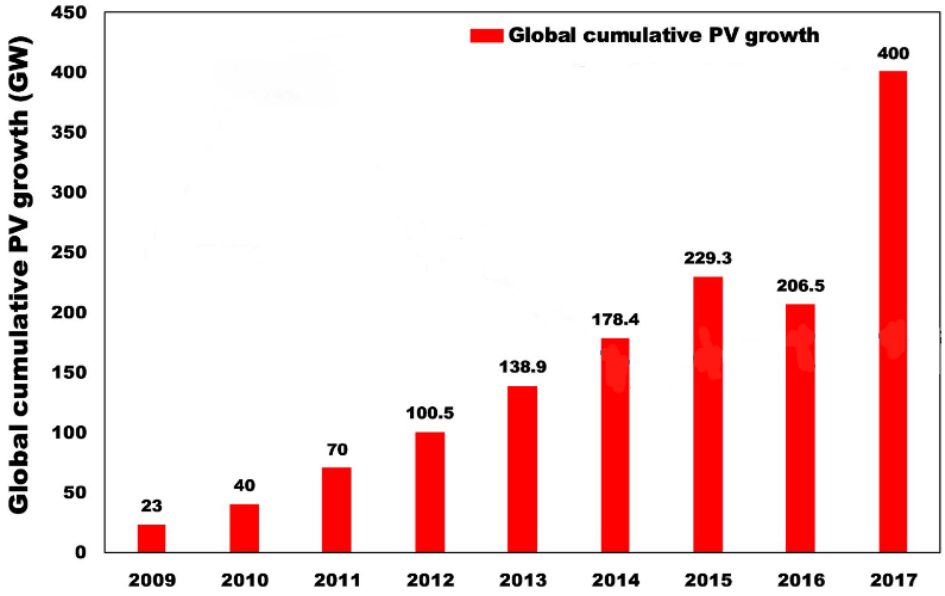
الشكل(5) مخططات توضح المبادئ الأساسية لأربعة تكوينات أساسية للطاقة الشمسية المركزة [19]
a- حوض مكافئ b- عاكس فريسنل الخطي، c- برج طاقة مركزي، d- أنظمة الأطباق.

2-4-2 الخلايا الكهروضوئية الشمسية:

تعود أصول الخلايا الكهروضوئية إلى برنامج الفضاء الأمريكي واستخدمت لأول مرة في ستينات القرن الماضي لتشغيل الأقمار الصناعية وما زالت تؤدي هذا الدور حتى الان. بالإضافة إلى الاستخدام المستمر للتقنيات الكهروضوئية في الفضاء، فإن تكلفتها الحالية وأدائها الجيد يجعلانها مناسبة أيضاً للعديد من التطبيقات المعزولة عن الشبكة وحتى المتصلة بالشبكة في كل من الأجزاء المتقدمة والنامية من العالم.

وكان الدافع الآخر لتوسيع سوق الخلايا الكهرضوئية هو التطبيقات المتخصصة بكميات صغيرة جداً من الطاقة مثل الآلات الحاسبة والتطبيقات الصغيرة البعيدة مثل الاتصالات السلكية واللاسلكية [20].

وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية هي عبارة عن أجهزة شبه موصلة صلبة لا تمتلك أجزاء متحركة وهي قادرة على تحويل ضوء الشمس إلى تيار كهربائي مستمر. تعتمد الطاقة التي يمكن أن تنتجها الخلية الشمسية أساساً على الخصائص الجوهرية للخلايا وعلى كمية الإشعاع الشمسي الذي يسقط على اللوحة، إلا أن العيب الأساسي في نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية هو كفاءته المنخفضة، حيث تعتمد الألواح بشكل كبير على معايير الغلاف الجوي التي لا يمكن التنبؤ بها، أي الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة. لذلك كان من الصعب بعض الشيء استخراج أقصى طاقة من اللوحة والذي بدوره أدى إلى انخفاض كفاءة النظام.



الشكل (6) النمو العالمي للطاقة الشمسية الكهروضوئية [21]

يعود المبدأ الأساسي الذي يقوم عليه تشغيل الوحدات الكهروضوئية إلى أكثر من 150 عاماً، لكن التطور المهم بدأ حقاً بعد اختراع بيل لابس لخلية السيليكون الشمسية في عام 1954. فخلال مرحلة تشغيل الأقمار الصناعية في أواخر الخمسينيات، كانت البساطة والموثوقية ذات أهمية قصوى وكانت التكلفة مصدر قلق ثانوي. منذ ذلك الوقت، تم إحراز تقدم هائل في الأداء الكهروضوئي وخفض التكاليف [3] [22].

تنتج الأنظمة الكهروضوئية الحد الأدنى من الملوثات وتتميز بالتشغيل الهادئ والموثوقية العالية، وتشمل التطبيقات قيد التطوير وحدات صغيرة لتوليد الكهرباء في المناطق النائية، كما أنها لا تحتوي على أجزاء متحركة ولا تنتج أي انبعاثات أثناء التشغيل. تتطلب الأنظمة الكهروضوئية القليل من

الخدمة أو الصيانة ولها عمر نموذجي يبلغ حوالي 20 عامًا [23]. يبين الشكل (6) أنه في نهاية عام 2017 بلغ اجمالي السعة المركبة حوالي 400 جيجاواط كما هو موضح في الشكل.

2-5 تطبيقات الأنظمة الكهرضوئية:

2-5-1 محطات مثبتة على أسطح الأبنية:

يعد هذا النوع من أكثر الأنواع انتشاراً واستدامةً وموثوقية، وهو عبارة عن ألواح شمسية كهروضوئية مثبتة فوق أسطح المباني التجارية أو السكنية، تلتقط الطاقة الضوئية المنبعثة من الشمس تحولها إلى طاقة كهربائية نظيفة، يتميز هذا النوع باستغلاله للمساحة الضائعة على السطح وهو بذلك يوفر الأراضي اللازمة لتركيب الألواح بدلاً من استثمار أراضي خارج المبنى، كما أن التظليل الذي يسببه على أسطح الأبنية يساهم بدوره بتخفيض حمل التبريد المطلوب وبالتالي تحقيق وفورات في الكهرباء، كما هو مبين في الشكل (7-a).

(a)

(b)

(c)

(d)

الشكل (7) تطبيقات الأنظمة الكهرضوئية

a-محطات مثبتة على أسطح الأبنية، b-محطات مثبتة على الأرض، c-مصفوفات مناسبة للزراعة تحتها d- تحويل زجاج المباني إلى ألواح شمسية

2-5-2 محطات مثبتة على الأرض:

هذا النوع مشابه جداً للنوع السابق حيث أن التوصيلات الكهربائية وأجهزة الحماية متطابقة في النوعين، إلا أنه يختلف عنه بطريقة التركيب، يتميز هذا النوع بإمكانية تزويده بنظام تتبع يزيد من ضوء الشمس المباشر الذي تتلقاه لخلايا الكهروضوئية، كما يعد أكثر أماناً في التركيب وصيانته أسهل، يفضل أن يبتعد عن المنزل مسافة كافية وذلك تفادياً لأي تظليل ممكن أن يحصل بسبب المنزل، كما هو مبين في الشكل (7–b).

2–5–3 مصفوفات مناسبة للزراعة تحتها:

عند استخدام الألواح الشمسية المثبتة على الأرض في المزارع يمكن استخدام الأرض الموجودة تحتها في زراعة نباتات منخفضة الإضاءة، كما يمكن تركيب ألواح كهروضوئية على الجزء العلوي من السطح في البيوت البلاستيكية وذلك بغرض التظليل و المساهمة بتوفير كمية من الطاقة المطلوبة للإضاءة و التدفئة [24] كما هو مبين في الشكل (7–c).

2–5–4 تحويل زجاج المباني إلى ألواح شمسية:

بدلاً من تركيب الخلايا الشمسية على أسطح المنازل أو على الأرض، يتم الان تطوير تقنية جديدة وهي النوافذ الشفافة الكهرضوئية المنتجة للطاقة الكهربائية وذلك لتحويل الواجهات الزجاجية للمباني الشاهقة إلى مصادر متجددة للطاقة، بإمكان هذه النوافذ تحقيق متطلبات أمان معينة مع المحافظة على الشفافية، مما يسمح لشاغلي المبنى برؤية الضوء الطبيعي والاستمتاع به [25] كما هو مبين في الشكل (7–d).

2-6 الواجهات الزجاجية الكهرضوئية المدمجة مع البناء:

في بداية الثمانينات من القرن الماضي بدأ عملياً ادخال منظومات الخلايا الشمسية في المباني Building Integrated Photovoltaics (BIPVs) و بدأ معها تصاعد أزمة بين العلماء ومهندسي الطاقة من جهة، و المهندسين المعماريين من جهة أخرى، حيث يطمح الطرف الأول إلى زيادة كفاءة منظومات المباني و الاستفادة من أكبر قدر من الطاقة، أما المعماريون فكان جل اهتمامهم الشكل الجمالي للمبنى و بالتالي التحرر من أية قيود ممكن أن تحد من ابداعاتهم، و بحلول فترة التسعينيات أصبح للخلايا الشمسية قبول أكبر نتيجة لاهتمام مصنعي الخلايا الشمسية بوضع الحلول التقنية المناسبة لمشكلة الشكل، حيث ساهمت التقنيات المتعددة في انتاج خلايا شمسية تتناسب مع المتطلبات الجمالية للمباني بإحلالها محل بعض مواد البناء مما جعلها تنال قبول المعماريين و المستخدمين على حد سواء.

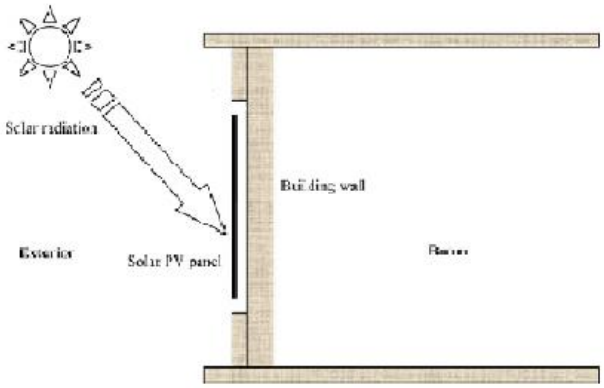
وقد أدى تطور تقنيات الخلايا الشمسية إلى وجود مرونة في استخداماتها بحيث يمكن تركيبها في المباني القائمة أو خلال عمليات البناء كما يمكن تركيبها على الأسقف أو ضمن الواجهات (النوافذ والجدران) أو أجزاء أخرى مثل المظلات أو الشرفات حيث يوفر السطح الخارجي للمبنى مساحات كافية لمنظومات الخلايا الشمسية. يبين الشكل (8) الطرق المختلفة لدمج الخلايا الكهروضوئية مع البناء.

الشكل (8) الأشكال المختلفة للواجهات الكهرضوئية المدمجة مع البناء

ان منظومة الخلايا الشمسية التي يتم ادخالها الى المبنى أما أن يتم دمجها ضمن مادة من مواد البناء أو أن تحل محلها بالكامل، ويمكن تقييم أي منظومة خلايا شمسية مدمجة في المباني وذلك بمقارنتها بالعنصر التنفيذي بدون إدخال منظومات الخلايا الشمسية إليه، مع الأخذ في الاعتبار طريقة الانشاء والتركيب ونوع المبنى.

ان مساحة الواجهات الهائلة المتوفرة بالمباني تُضاف لها قيمة اضافية فوق قيمتها الاصلية وهي استخدامها في توفير جزء أو كل احتياجات المبنى من الطاقة.

بسبب الانتشار الكبير للمباني الشاهقة الارتفاع ذات الواجهات الزجاجية الكبيرة، والتي تعاني من ازدياد واضح في استهلاك الطاقة عن طريق ازدياد التبادل الحراري من خلال هذه الواجهات، بات بالإمكان استغلال المساحات الكبيرة لهذه الواجهات وتحويلها إلى مصادر منتجة للطاقة وذلك مع المحافظة على الشكل الجمالي عن طريق استبدالها بخلايا كهروضوئية قادرة على تحويل الاشعاع الشمسي إلى تيار كهربائي. يبين الشكل (9) رسم تخطيطي لبناء نظام كهروضوئي متكامل مع البناء.



الشكل (9) رسم تخطيطي لبناء نظام كهروضوئي متكامل مع البناء [26]

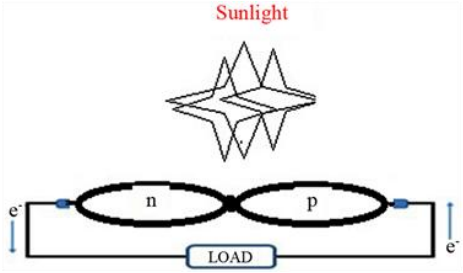
يتكون أي نظام شمسي من مجموعة من المكونات: الوحدة الكهروضوئية (الألواح) التي تلتقط الاشعاع الشمسي و تحوله لتيار كهربائي مستمر، بالإضافة إلى مكونات توازن النظام Balance Of System(BOS) والتي تشمل وحدة التحكم في الشحن (المنظم) وهو المسؤول عن التحكم بكمية الكهرباء الداخلة إلى البطارية، وأجهزة التخزين (البطارية) المسؤولة عن تخزين الفائض من الطاقة وتمكننا من الاستفادة منها وقت الحاجة، و(العاكس) الذي يقوم بتحويل التيار المستمر الناتج عن الألواح إلى التيار المتناوب اللازم لتشغيل الأدوات الكهربائية، وهيكل النظام، وشبكة الطاقة [27].

يبين الشكل (10) مكونات منظومة الطاقة الشمسية المتمثلة بالألواح، المنظم، البطارية، العاكس.

الشكل (10) مكونات منظومة الطاقة الشمسية

2-6-1 الية عمل الخلايا الكهرضوئية:

عند سقوط الأشعة الشمسية على الخلية الشمسية تعمل الطبقة المضادة للانعكاس على احتجاز الضوء الساقط بفعالية عن طريق تعزيز انتقاله إلى الطبقات التالية، وعندما تتعرض الشريحة السالبة لأشعة الشمس فإن طاقة الفوتونات تنتقل إلى الإلكترونات في منطقة التكافؤ لتصبح قادرة على الانتقال إلى منطقة التوصيل في الشريحة السالبة، وبالمقابل تنتقل الفجوات الموجبة إلى منطقة التوصيل بالشريحة الموجبة، لينتج عن ذلك فرق جهد بين سطحي الوصلة الثنائية، ويمكن الربط بين السطحين بواسطة موصل كهربائي للحصول على تيار كهربائي في دائرة كهربائية، حيث تمر الإلكترونات من الوصلة السالبة إلى الوصلة الموجبة في الدائرة الكهربائية، وبذلك قمنا بتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية كما هو مبين في الشكل (11) [28].



الشكل (11) آلية عمل الخلايا الكهروضوئية [28]

2-6-2 مراحل التطور التكنلوجي الكهروضوئي:

هناك أربع مراحل للتطور التكنولوجي الكهروضوئي المعروفة اليوم:

1- إن الخلايا الشمسية أحادية الوصلة القائمة على رقائق السيليكون صنعت الجيل الأول من الخلايا الكهروضوئية وسيطرت على سوق الخلايا الكهروضوئية (PV) على مدى نصف القرن الماضي [11]، والتي تتصف بسماكة عالية حوالي (0.2-0.5 مم)، وكفاءة تتراوح بين 10 و 16٪، وعمر افتراضي من عشرين إلى ثلاثين سنة، يركب الجيل الأول من الأنظمة الكهروضوئية في BIPV مباشرة على سطح المبنى وأحيانًا على الواجهة [29].

تعد المخلفات الناتجة عن معالجة رقاقة السيليكون غير صديقة للبيئة. إلى جانب ذلك، إن تكلفة معالجة الخلايا الشمسية البلورية القائمة على السيليكون مرتفعة نسبياً، مما يجعلها غير ميسورة التكلفة بالنسبة للكثيرين في جميع أنحاء العالم، من أجل تقليل التكاليف، تم تطوير تقنية

الكريستالات المتعددة (polycrystalline). يتم إنتاج البولي سيليكون عن طريق استخدام السيليكون المعدني المحسن، باستخدام عمليات التنقية المعدنية بدلاً من عمليات التنقية الكيميائية [29].

2- تقود أجهزة الوصلة الواحدة الجيل الثاني من التقنيات الكهروضوئية، بهدف استخدام مواد أقل نشاطًا وبنفس الوقت قريبة من كفاءات الجيل الأول، تستخدم الخلايا الشمسية الكهروضوئية من الجيل الثاني الخلايا الشمسية السليكونية غير المتبلورة Amorphous silicon solar cells (a-Si) أو تيلورايد الكادميوم/كبريتيد الكادميوم (CdTe/CdS) أو الخلية الشمسية من نوع نحاس- إنديوم- جاليوم- سيلينيد (CIGS) أو سيليكون متعدد البلورات (P-si) المترسبة على ركائز منخفضة التكلفة، مثل الزجاج. تتميز هذه المركبات بسماكة منخفضة حوالي (10-100 ميكرومتر)، كفاءة تتراوح بين 6 و 10٪، وعمر افتراضي من 15-20 سنة، تستفيد هذه التقنيات من حقيقة أن CdTe و CIS و a-Si تمتص الطيف الشمسي بشكل أفضل من C-Si و poly-Si، مما يسمح بتقليل المواد الفعالة [29].

3- الجيل الثالث من التقنيات الكهروضوئية عبارة عن خلايا شمسية ذات أغشية رقيقة قابلة للمعالجة، وهي مصممة لتوليد كفاءة عالية في تحويل الطاقة بتكلفة منخفضة، يشمل هذا الجيل الخلايا الكهروضوئية العضويةOrganic solar cells (OPV)، والخلايا الشمسية الصبغية الحساسةdye-sensitized solar cells (DSSCs) [11].

تتميز الخلايا الكهروضوئية من الجيل الثالث بنفس طرق الترسيب والغشاء الرقيق الموجودة في الجيل الثاني، تمت محاولة خفض التكاليف عن طريق استخدام مواد منخفضة التكلفة وأيضاً زيادة سطح المادة الفعالة، كان الهدف منها تحقيق كفاءة عالية من الجيل الثاني، مع استخدام المزيد من المواد غير السامة والوفيرة. تتميز خلايا هذا الجيل بكفاءات نظرية تصل إلى 25٪ وما فوق لكن لا يزال هذا الجيل في مرحلة دراسة النماذج و البحوث التشغيلية حتى الآن [29].

4- أخيرًا ظهرت الخلايا الشمسية القائمة على البيروفسكايت مؤخرًا كجيل رابع من التكنولوجيا الكهروضوئية التي فاقت التوقعات من حيث إنتاج كفاءة تحويل عالية للطاقة في فترة زمنية قصيرة جدًا [11]. كما تعد واحدة من ابرز الحلول الممكنة في صناعة الخلايا الكهرضوئية لاستخدام الخلايا الضوئية غير المكلفة القابلة للمعالجة، حيث تم تقديم بيروفسكايت هاليد الرصاص المعدني العضوي لأول مرة كمحسّسات في الخلايا الشمسية الحساسة للصبغة (DSSCs) في عام 2006، وتم تحقيق مزيد من التطوير باستخدام CH3NH3PbI3 كمحفز في

عام 2009. تتمتع مواد البيروفسكايت هذه بخصائص رائعة مثل معامل الامتصاص العالي ونطاق الامتصاص الواسع الذي يغطي كامل الطيف المرئي تقريبًا من 300 إلى 800 نانومتر [11].

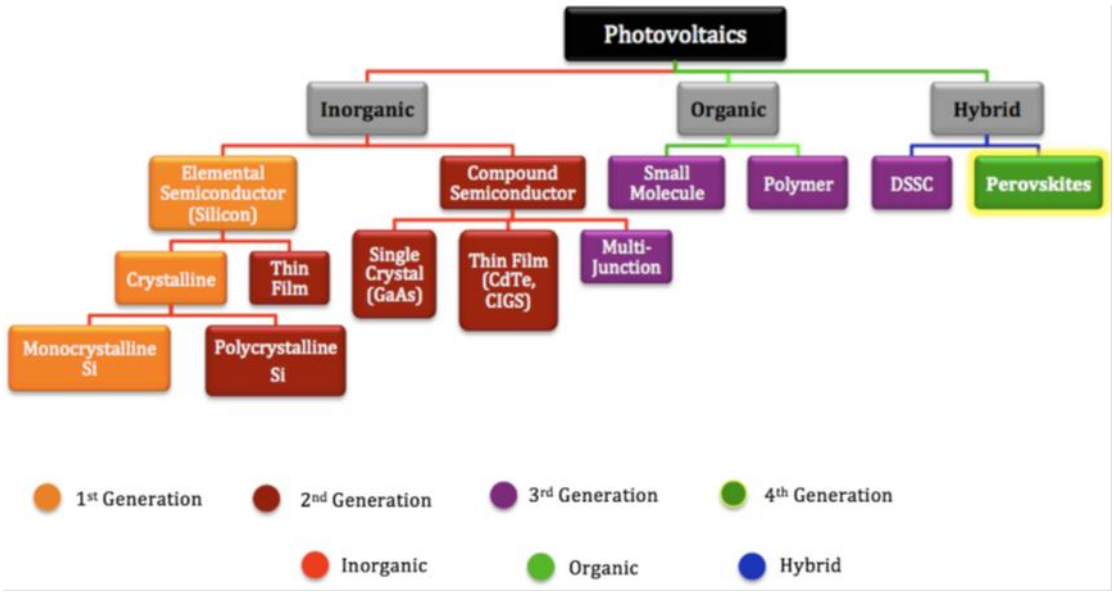
زادت كفاءة الخلايا الشمسية القائمة على البيروفسكايت بسرعة، من 3.8٪ في عام 2009 إلى 19.3٪ في عام 2014، عن طريق استخدام بنية الأغشية الرقيقة الصلبة بالكامل وهياكل الخلايا الهندسية مع هاليد البيروفسكايت المختلط [30]. ويوضح الجدول (1) مزايا وعيوب الخلايا الشمسية المختلفة.

الجدول 1: مزايا وعيوب الخلايا الشمسية المختلفة [31]

الجيل	نوع الخلية الشمسية	مزاياها	عيوبها
الأول	الخلايا الشمسية أحادية السليكون (Monocrystalline silicon)	تقنيات كهروضوئية الناضجة. متين للغاية. مناسب لتطبيقات BIPV	أثناء المعالجة ينتج الكثير من النفايات عند إزالة السيليكون. يتدهور الأداء في درجات الحرارة العالية. معتم بطبيعته ، وبالتالي فهو أقل ملاءمة لتطبيق BIPV بشكل فني.
الأول	الخلايا الشمسية متعددة الكريستالات السليكونية (Polycrystalline silicon solar cells)	عملية الإنتاج أبسط من الخلايا أحادية البلورية. متين للغاية.	نظرًا لانخفاض مستوى نقاء السيليكون ، يبلغ الأداء حوالي 13–16٪ فقط.
الثاني	الخلايا الشمسية السليكونية غير المتبلورة (Amorphous silicon solar cells)	تكاليف تصنيع منخفضة. يمكن إنتاج الخلية بأشكال مختلفة. في درجات الحرارة العالية ، يكون تدهور الأداء أقل من السيليكون البلوري.	تبلغ الكفاءة عادةً 6–8٪. لها عمر أقصر مقارنة بالخلايا الشمسية الأخرى. يتطلب ضعف المساحة للحصول على نفس الطاقة الكهروضوئية من السيليكون البلوري.
الثاني	الخلايا الشمسية من نوع الكادميوم تيلورايد (CdTe solar cells)	الكادميوم متوفر بكثرة. عملية التصنيع بسيطة. يمكن أن تمتص الضوء بطول موجي أقصر.	تعمل الكفاءة في نطاق 9–11٪. التيلوريوم غير متوفر بكثرة. الكادميوم تيلورايد سام وضار

			بالبيئة.
الثاني	الخلية الشمسية من نوع نحاس – إنديوم – جاليوم – سيلينيد (CIGS solar cells)	تستخدم الخلايا الشمسية CIGS مستويات أقل من الكادميوم، في شكل كبريتيد الكادميوم. ركائز الخلايا الشمسية CIGS أكثر تنوعًا مقارنةً بـ c–Si. تُظهر الألواح الشمسية CIGS مقاومة أفضل للحرارة مقارنة بخلايا السيليكون الشمسية.	تتراوح الكفاءة بين 12–14٪. ارتفاع تكاليف التصنيع والإنتاج.
الثالث	الخلايا الشمسية العضوية (Organic solar cells)	الوحدات الكهروضوئية خفيفة الوزن ومرنة. تكاليف إنتاجها أقل من التقنيات التقليدية غير العضوية، مثل خلايا السيليكون الشمسية.	عمرها قصير. كفاءة منخفضة للغاية حوالي 4–5٪.
الثالث	الخلايا الشمسية الصبغية DSSC (dye–sensitized solar cells)	تتكون من مواد منخفضة التكلفة سهلة التصنيع. إنه يعمل حتى في ظروف الإضاءة المنخفضة مثل الطقس الغائم. الشفافية القابلة للضبط ممكنة عن طريق ضبط السماكة والصبغة. استخدام الركيزة المرنة يجعلها مرنة ومناسبة لـ BIPV.	كفاءة منخفضة حوالي 12٪. يعاني المحلول الكهربائي السائل من مشاكل استقرار درجة الحرارة. سوف يجف السائل بسرعة. الاستقرار على المدى الطويل أمر مشكوك فيه.
الرابع	خلايا بيروفسكايت الشمسية (Perovskite solar cells)	يستخدم البيروفسكايت كمية أصغر من المواد لامتصاص كمية مكافئة من الضوء مقارنةً بـ c–Si. تعتبر مواد البيروفسكايت، مثل هاليدات الرصاص ميثيلامونيوم رخيصة وسهلة الإنتاج. الخلايا شبه الشفافة / الشفافة ممكنة، مما يجعلها مناسبة لتطبيق البناء الجمالي.	غير مستقر في الظروف المحيطة. لم تنضج التكنولوجيا بالكامل. الأداء الحراري لهذه التقنية ليس جيدًا.

ويبين الشكل (12) مراحل التطور التكنلوجي الكهروضوئي.



الشكل (12) مراحل التطور التكنلوجي الكهروضوئي [32]

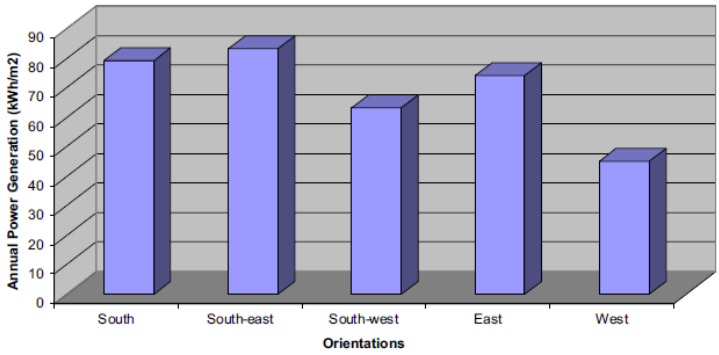
2-7 مكونات منظومة الطاقة الشمسية:

2-7-1 النوافذ الكهرضوئية:

هناك 3 أنواع رئيسية من النوافذ الكهرضوئية المتوفرة حالياً (التي تحل مكان الألواح الشمسية في الأنظمة التقليدية):

1- الأغشية الكهروضوئية: هي عبارة عن أغشية رقيقة من الخلايا العضوية مغطاة بالزجاج، وتعمل أيضاً كحل تعديلي لزجاج النوافذ القياسي.
2- وحدات الزجاج المزدوج: تسمى أيضاً (الزجاج المزدوج أو زجاج-زجاج)، والتي تتكون أساساً من خلايا شمسية من السيليكون البلوري محصورة بين طبقتين من الزجاج.
3- نوافذ مدمجة بالطاقة الشمسية، وهي نوافذ زجاجية مزودة بخلايا شمسية مدمجة في الزجاج [33].

يبين الشكل (13) توليد الطاقة السنوي من نافذة كهروضوئية.



الشكل (13) توليد الطاقة السنوي من نافذة كهروضوئية [9]

2-7-2 وحدة التحكم في الشحن الشمسي (المنظم):

يحتاج تخزين الطاقة إلى تغيير في تدفق التيار كما هو مطلوب وفرق جهد ثابت بين المحطتين. لكن اللوح الشمسي يولد تدفقاً للتيار بالإضافة إلى فرق الجهد اعتماداً على ضوء الشمس. لتحويل توليد الطاقة الشمسية إلى الشكل المطلوب، يتم استخدام أنواع مختلفة من أجهزة التحكم بالشحن. هناك طرق مختلفة لأجهزة التحكم في الشحن والتي ستحول الطاقة الشمسية إلى الشكل المطلوب لأجهزة التخزين. من بينها، أكثر أجهزة التحكم في الشحن شيوعاً هما تقنية تعديل عرض النبضة Pulse Width Modulated (PWM) وكذلك تقنية ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى Maximum Power Point Tracking (MPPT) .

يتمثل الدور الرئيسي لوحدة التحكم في الشحن الشمسي في تحويل الطاقة الشمسية المدخلة حسب حاجة البطارية الاحتياطية. تحاول وحدة التحكم استخراج أقصى طاقة من ضوء الشمس عندما يكون احتياطي البطارية قليل جداً. عندما يبدأ احتياطي البطارية بالامتلاء، يجب على جهاز التحكم أن يحد من الطاقة الواردة نحو البطارية، وبمجرد امتلاء البطارية يجب أن تتوقف وحدة الشحن عن شحن البطارية [34].

وظائفه الأساسية:

1- توفير الشحن الامن للبطارية لضمان عمر طويل الأمد.
2- تفريغ البطارية بشكل امن وفعال وذلك من أجل تزويد الطاقة للأحمال الموصولة.
3- استخلاص الاستطاعة من الألواح الشمسية بأمان وكفاءة وضبط جهد الخرج للألواح الشمسية لتناسب الجهد المطلوب للبطاريات.

يمكن تقسيم منظمات الشحن الأكثر استخداماً في منظومات الطاقة الشمسية إلى مجموعتين رئيسيتين وذلك اعتمادا على الية العمل:

1- طريقة تعديل عرض النبضة PWM:

يساعد PWM في شحن البطاريات ويطيل عمر البطارية، ويتم تخزين المزيد من الطاقة التي تولدها الألواح الشمسية. نظراً لأن البطاريات تخزن قدراً أكبر من الطاقة في المتوسط، يمكن استخدام بطارية أصغر لتقليل تكاليف النظام الإجمالية، يتمثل عمل وحدة التحكم في الشحن PWM في مطابقة جهد اللوحة مع جهد البطارية وسحب جهد خرج اللوحة [35].

2- ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى MPPT:

تسمح وحدات التحكم بالشحن بالطاقة الشمسية MPPT للمستخدمين باستخدام الوحدة الكهروضوئية مع خرج جهد أعلى من نظام بطارية الجهد التشغيلي. نظراً لأن وحدات MPPT أكبر في الحجم المادي بشكل عام، لذا فهي أكثر تكلفة مقارنة بوحدات التحكم، إن MPPT هي أحدث تقنية تهدف إلى استخراج الحد الأقصى من الألواح الشمسية، تعمل وفقاً لجهد اللوحة وتحول الجهد الإضافي للوحة إلى تيار مما يزيد من خرج النظام الشمس، تعد وحدة التحكم MPPT أكثر كفاءة بنسبة 30 ٪ على الأقل من وحدة التحكم PWM، أي مع MPPT نحصل على إنتاج أكثر بنسبة 30 ٪ من نظام الطاقة الشمسية [35].

2-7-3 البطارية:

في حين أن تطوير نماذج الطاقة الشمسية الكهروضوئية الدقيقة يلعب دوراً مهماً في تصميم النظام الأمثل، فإن اختيار تقنية التخزين المناسبة يجب أن يؤخذ في الاعتبار أيضاً. يوجد عدة أنواع للبطاريات المناسبة للطاقة الشمسية:

1- بطاريات الرصاص المغمورة Flooded Lead Acid (FLA):

هي البطاريات التي تكون مغمورة بشكل كامل بسائل قابل للتأين الكهربائي، يجب التعامل بحرص وحذر عند التعامل مع هذه النوعية، لأنها قد تطلق غاز الهيدروجين القابل للانفجار، لذلك يجب الاهتمام بالتهوية جيداً، والتأكد من عدم وجودها بالقرب من مواد قابلة للاشتعال، كما تعتبر أقدم الأنواع وأكثرها استعمالًا، حيث تحتاج إلى صيانة كل فترة زمنية، ويصل عمرها الافتراضي إلى 10 سنوات.

2- بطاريات الرصاص غير المغمورة Valve Regulated Lead Acid (VRLA):.

هي تتشابه مع بطاريات الرصاص المغمورة، ولكنها لا تحتاج إلى تغيير السائل بداخلها مثل البطاريات المغمورة، ولا تحتاج إلى صيانة مستمرة، كما أنها لا تسبب إطلاق غاز الهيدروجين، مما يجعلها أكثر أماناً في النقل والتركيب بأي مكان.

2-7-4 العاكس:

العاكس عبارة عن محول ثابت للطاقة الكهربائية من التيار المستمر المنتج بواسطة الخلايا الكهروضوئية، إلى التيار المتردد المطلوب لتشغيل الأجهزة الكهربائية المطلوبة، أي بالنسبة لجهد التيار المستمر المعطى عند الإدخال، يقوم العاكس بقطع الجهد عن طريق أشباه الموصلات (الترانزستورات أو الثايرستور) من أجل الحصول على جهد تيار متردد يمكن تعديله في التردد والقيم الفعالة [36].

يعتمد حجم و نوع عاكس التيار المتردد المطلوب لتطبيقات الطاقة الشمسية الكهروضوئية على نوع الأحمال المتصلة بالمنظومة بشكل رئيسي [37].

أنواع العواكس:

1- عاكس البطارية Battery Inverter:

يعد محول البطارية هو الخيار الأفضل في حال الحاجة إلى تركيب بطارية بأثر رجعي في النظام الشمسي، أو في حال الرغبة في إبقاء البطارية منفصلة عن الألواح الشمسية وتشغيلها عبر عاكس مختلف.

2- عاكس مركزي Centralized Inverters:

العاكس المركزي ضخم ويستخدم للأنظمة التي تتطلب مئات الكيلوواط من الحجم. إنها ليست للاستخدام السكني وتشبه الخزانة المعدنية الكبيرة، حيث تستطيع كل "خزانة" التعامل مع حوالي 500 كيلو وات من الطاقة. يتم استخدامها بشكل عام تجاريًا للمنشآت واسعة النطاق، أو لمزارع الطاقة الشمسية على نطاق المرافق.

3- عاكس هجين Hybrid Inverters:

المحولات الهجينة، والمعروفة باسم "المحولات متعددة الأوضاع".

4- العاكس الدقيق صغير الحجم Micro-Inverters:

كما يوحي اسمها، فإن المحولات الدقيقة صغيرة جداً، تتمثل فائدة المحول الصغير في أنها تعمل على تحسين كل لوحة شمسية على حدة، مما يوفر المزيد من الطاقة (خاصة في الظروف المظللة).

5- محولات الأوتار String Inverters:

تسمى أيضا محولات السلسلة، محولات الأوتار هي أكثر خيارات العاكس شيوعاً للاستخدام السكني، وعادة ما يكون هناك عاكس سلسلة واحد لكل تركيب شمسي. تُعرف باسم "محولات السلسلة" نظراً لتوصيل سلسلة من الألواح الشمسية بها[38] .

2-8 دور نمذجة معلومات البناء (BIM) في أنظمة الخلايا الكهرضوئية المدمجة مع البناء (BIPVs):

تلعب نمذجة معلومات البناء Building Information Modeling (BIM) دوراً هاماً في أنظمة الأبنية الحديثة ومنها أنظمة الخلايا الكهروضوئية المدمجة مع البناء (BIPV)، حيث يمكننا بمساعدة BIM بناء مبنى بالكامل افتراضياً، يمكننا خلال مرحلة التصميم في BIM اختيار ودمج عناصر البناء التي ستشكل الهيكل النهائي، بما في ذلك الألواح الخرسانية، حديد التسليح، الهيكل الفولاذي، الجدار ومكونات السقف، إضافةً إلى أنظمة التدفئة والتهوية وتكييف الهواء والسباكة والعناصر الكهربائية. يمكننا أيضاً اختبار جميع هذه الأجزاء للكشف عن أي اشتباكات للتأكد من أن كل شيء سيتجمع بسلاسة. يمكن بعد ذلك استخدام نموذج المبنى ثلاثي الأبعاد لتقدير وتقييم كفاءة الطاقة للمبنى المصمم من خلال تشغيل سيناريوهات "ماذا لو" لاختيار أفضل الحلول العديدة الممكنة.

يمكننا BIM من مشاركة المعلومات الواردة بسهولة في مجالات التشغيل المختلفة لهذا المشروع مع مختلف المهنيين المشاركين في المشروع، يمكن القيام بهذه العملية من خلال آلية مشاركة افتراضية في كل مرحلة من مراحل المشروع. يعد تطبيق BIM مفيداً للغاية، حيث إنه يمنح العميل المحتمل فكرة مصورة واضحة عما سيبدو عليه المشروع المقترح بعد الانتهاء. ومع ذلك، فإن أداة BIM لا تمتلك القدرة على التنبؤ بدقة بمخرجات أداء الخلايا الكهروضوئية مقابل استهلاك المبنى للكهرباء. هناك العديد من الأدوات الأخرى التي يمكن استخدامها بشكل منفصل عن BIM لنمذجة الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتقييم إمكانات توليد الطاقة الكهروضوئية للمبنى، بعد ذلك يصبح بالإمكان استقراء المعلومات لبرنامج (BIM Autodesk) وعرضها في مناظر ثلاثية الأبعاد.

يمكن تصور و تحليل مكونات منظومة الخلايا الكهروضوئية المدمجة مع البناء باستخدام أدوات نمذجة ملومات البناء BIM [39].

الفصل الثالث: القسم العملي

Chapter (3):

ملخص الفصل:

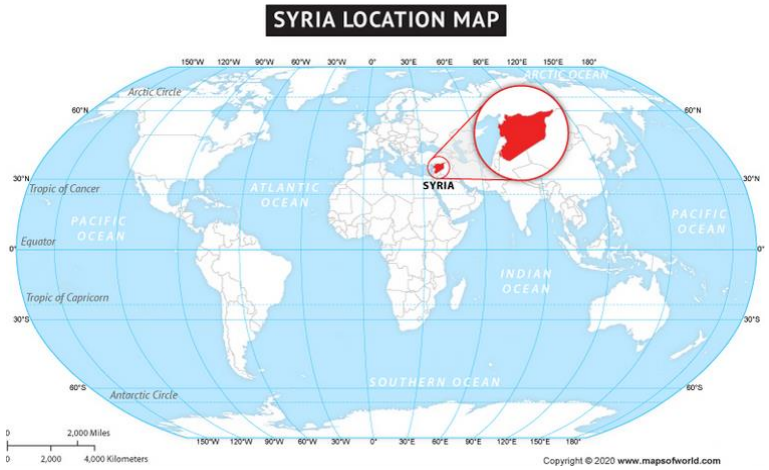
تـم فـي هـذا الفصـل اجـراء توصـيف للمبنـى المـدروس وحسـاب الاسـتطاعة المطلوبـة لتغطيـة الحمل الموجود في هذا المبنى ثم حساب الاستطاعة التي نتجت عن النوافذ الكهرضوئية.

مخطط الفصل:

1- مقدمة:
2- توصيف المبنى
3- حساب مساحة الواجهة الزجاجية القابلة للاستبدال بالخلايا الكهرضوئية المنتجة للطاقة
4- حسابات الاستهلاك
5- حساب الاستطاعة الناتجة عن النوافذ الشمسية الكهرضوئية
6- حساب نظام البطاريات
7- تحديد سعة العاكس
8- نمذجة لحساب النتائج المتوقعة من تطبيق هذه التقنية وفق موقع

1-3 مقدمة:

تقع سورية في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، غرب اسيا بموقع جغرافي متميز يتوسط القارات الثلاث (اسيا اوروبا افريقيا)، تقع بين خطي عرض (32–37.5) درجة شمال خط الاستواء، و خطي طول (35.5–42) شرقي غرينتش، بمساحة تقدر ب 185180 كم². يبين الشكل (14) موقع سورية على خريطة العالم في نصف الكرة الشمالي.



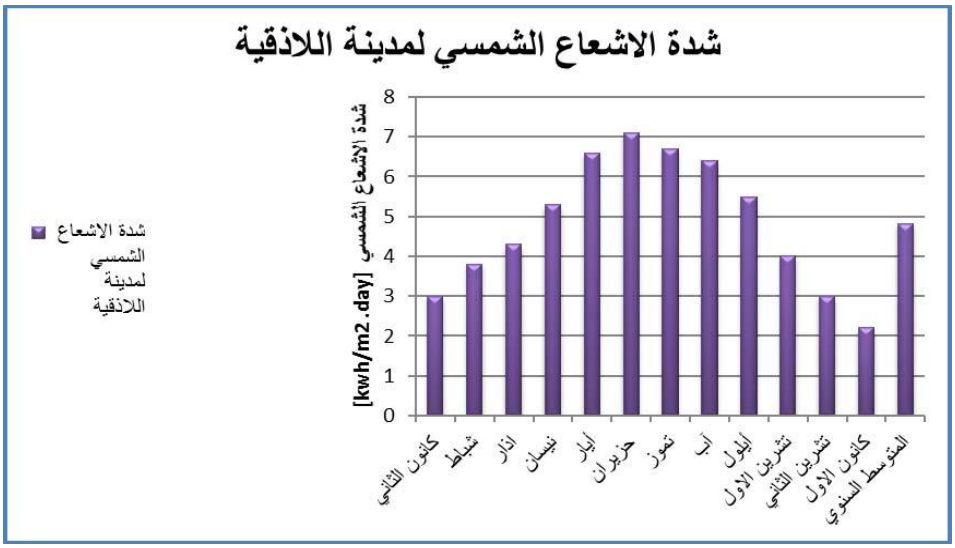
الشكل (14) موقع سوريا على خريطة العالم.

ويتميّز موقعها هذا بإشعاع شمسي مناسب خلال مختلف أيام العام وذلك بحسب الأطلس الشمسي [40].

عانت سورية منذ عدّة أعوام من مشكلة انقطاع التيار الكهربائي لساعات طويلة، وذلك لسببين أساسيين، أولهما الضرر الذي لحق بمحطات توليد الطاقة الكهربائية، إضافةً إلى النقص في مادتي الفيول والغاز الأساسيتين لتوليد الطاقة الكهربائية. لذلك كان لا بد من البحث عن مصادر أخرى مساعدة لإنتاج الطاقة الكهربائية وتعتبر مصادر الطاقات المتجددة هي الحل الأفضل والأنسب وخاصةً الطاقة الشمسية التي تعتبر من أفضل الأنواع للاستثمار في سورية باستفادة تقدر ب 10 ساعات من الإشعاع الشمسي المفيد خلال الصيف و 5 ساعات خلال الشتاء ويعود ذلك لموقعها الجغرافي المتميّز.

و تعتبر مدينة اللاذقية الساحلية ذات المناخ المتوسطي المعتدل (صيف حار و جاف– ربيع و خريف معتدلان– شتاء بارد و ماطر) مناسبة لإنشاء مشاريع للطاقة الشمسية الكهروضوئية، لذلك تم اختيارها لإجراء الدراسة، حيث تم اختيار مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية ذو الواجهات الزجاجية الكبيرة

من أجل إجراء دراسة تحويل هذه الواجهات إلى واجهات زجاجية كهروضوئية، تقوم بإنتاج الطاقة الكهربائية لتغطي جزء من الحمولة المطلوبة للمبنى. يبين الشكل (15) مخطط تظهر فيه شدة الاشعاع الشمسي لمدينة اللاذقية على مدار العام.



الشكل(15) شدة الاشعاع الشمسي لمدينة اللاذقية [41]

2-3 توصيف المبنى:

المبنى المدروس هو مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية، والذي يتألف من ستة طوابق، تشغل النقابة منه الطابقين الخامس والسادس. ويتميّز المبنى بوجود واجهات زجاجية على طول واجهتيه الرئيسيتين الجنوبية والغربية، مما جعله مرشح لتطبيق تقنية النوافذ الشمسية الكهروضوئية. ويتم حساب الاستهلاك اليومي من الطاقة الكهربائية على أساس ساعات العمل اليومية للموظفين في المبنى وتقدّر بـ 6 ساعات عمل يومياً على مدار 5 أيام في الأسبوع. يبين الشكل (16) صورة خارجية للمبنى الذي تمت عليه الدراسة وهو مبنى نقابة المهندسين في اللاذقية.

الشكل(16) مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية

يقسم الطابق الخامس إلى عدّة غرف كما في الجدول (2).

الجدول 2: توصيف واستخدامات الغرف في الطابق الخامس.

رقم الغرفة	توصيف الغرفة	مساحتها	اتجاهها	مساحة الواجهة الزجاجية (m*m)
1	غرفة الحواسيب	32 م²	جنوبية	1.5*4 باتجاه الجنوب
2	غرفة موظفين	16 م²	جنوبية	1.5*4 باتجاه الجنوب
3	غرفة اجتماعات	32 م²	جنوبية	1.5*4 باتجاه الجنوب
4	غرفة سكرتير	4 م²	غربية	1.5*2 باتجاه الغرب
5	غرفة رئيس شعبة المكاتب	32 م²	غربية	1.5*4 باتجاه الغرب
6	مطبخ	6 م²	_	_
7	غرفة لجنة الجودة	32 م²	غربية	1.5*4 باتجاه الغرب
8	غرفة مكتب	32 م²	غربية	1.5*4 باتجاه الغرب

ويقسم الطابق السادس إلى عدّة غرف لاستخدامات مختلفة مبيّنة في الجدول (3):

الجدول 3: توصيف واستخدامات الغرف في الطابق السادس.

رقم الغرفة	توصيف الغرفة	مساحتها	اتجاهها	مساحة الواجهة الزجاجية (m*m)
1	غرفة النقيب	64 م²	واجهة جنوبية	2*8 باتجاه الغرب
2	غرفة اجتماعات	32 م²	واجهة جنوبية	2*4 باتجاه الجنوب
3	غرفة امين السر	32 م²	واجهة غربية	2*4 باتجاه الغرب
4	غرفة السكرتير	10 م²	واجهة غربية	2*2 باتجاه الغرب
5	قاعة محاضرات	45 م²	واجهة غربية	2*4 باتجاه الغرب
6	غرفة أعضاء المجلس	32 م²	واجهة جنوبية	2*4 باتجاه الجنوب
7	غرفة محاسبة	32 م²	واجهة جنوبية	2*4 باتجاه الجنوب
8	الذاتية	32 م²	واجهة جنوبية	2*4 باتجاه الجنوب
9	مستودع	32 م²	واجهة جنوبية	2*4 باتجاه الجنوب
10	أمين الصندوق	20 م²	اتجاه شمالي	2*1 باتجاه الشمال
11	الديوان	20 م²	اتجاه شمالي	2*1 باتجاه الشمال
12	حمامين	9 م²	اتجاه شمالي	–
13	مطبخ	6 م²	اتجاه شمالي	–

14	نادي النقابة	256 م²	واجهة غربية	16*4 باتجاه الغرب
15	مطبخ النادي	32 م²	اتجاه شرقي	8*1.5 باتجاه الشرق
16	حمام النادي	15 م²	اتجاه شرقي	-

3-3 حساب مساحة الواجهة الزجاجية القابلة للاستبدال بالخلايا الكهرضوئية المنتجة للطاقة:

في النصف الشمالي من الكرة الأرضية (كما هو الحال في سورية) يتم توجيه الألواح الشمسية الكهروضوئية بصورة دقيقة نحو الجنوب الجغرافي للحصول على أفضل انتاجية ممكنة للخلايا الكهروضوئية، لذلك سنركز في هذا القسم على الواجهات الزجاجية الجنوبية.

يوجد ثلاث نوافذ باتجاه جنوبي قابلة للاستبدال في الطابق الخامس بمساحة 6م² للنافذة الواحدة، بالتالي تصبح المساحة الكلية= 6×3=18م²، كما يوجد خمس نوافذ باتجاه الجنوب قابلة للاستبدال في الطابق السادس بمساحة 8م² للنافذة الواحدة و نافذة واحدة بمساحة 16م²، فتصبح المساحة الكلية= (5×8)+16=56م². بالتالي المساحة الكلية للواجهات الزجاجية ذات الاتجاه الجنوبي 74م²

4-3 حسابات الاستهلاك:

يبين الجدول (4) الأحمال الموجودة في كل من الطابقين الخامس والسادس.

الجدول 4: الأحمال الموجودة في المبنى.

نوع الحمل	عدد الأحمال	استطاعة كل حمل	الاستطاعة الكلية	عدد ساعات التشغيل	الاستطاعة المستهلكة في اليوم
لمبة فلورسنت بطول 120cm	69	38 w	2622	2h	5244 واط ساعي
حاسوب مكتبي	12	170 w	2040	6h	12240 واط ساعي
طابعة	13	40 w	520	3h	1560 واط ساعي
فرن كهربائي	1	2000 w	2000	1h	2000 واط ساعي
شاشة lcd كبيرة	2	150 w	300	2h	600 واط ساعي

شاشة lcdاصغيرة	1	80 w	80	2h	160 واط ساعي
سخان كهربائي	1	1200 w	1200	1h	1200 واط ساعي

وقد تمّ اتباع بعض الملاحظات:

1- لن يتم شغيل الشاشات والفرن الكهربائي على منظومة الطاقة الشمسية

2- سيتم الاستعاضة عن السخان الكهربائي بسخان يعمل على الطاقة الشمسية ويكون استهلاكه من الطاقة أقل.

اجمالي الاستهلاك بالساعة الواحدة:

$$2622+2040+520= 5182\ W$$

الحمل الكهربائي الكلي المطلوب في اليوم E:

$$E=(2622\times2)+(2040\times6)+(520\times3)=5244+12240+1560= 19044\ Wh$$

5-3 حساب الاستطاعة الناتجة عن النوافذ الشمسية الكهرضوئية:

سنفرض في هذا البحث تطبيق النوافذ الزجاجية من نوع البوليكريستالين والتي تتميز بالعديد من الخصائص الفيزيائية والكيميائية المرغوبة مثل الوفرة ، وانخفاض السمية ، والاستقرار ، بالإضافة الى انخفاض تكاليف تصنيعه [42].

والتي تتميّز باستطاعة خرج تقدّر ب 160 واط للمتر المربع الواحد [43].

بالتالي تكون قيمة الاستطاعة الكلية المتوقّع انتاجها من الواجهة الزجاجية في حال استبداله بنوافذ كهروضوئية هي 11840 واط خلال الساعة الواحدة وخلال خمس ساعات الاشعاع الشمسي 59200 واط بالمتر المربع.

وبمقارنة هذه القيمة مع قيمة الاستهلاك الكلي للمبنى المدروس، نلاحظ أن تطبيق هذه التقنية يتيح تأمين وتغطية نسبة من الاستهلاك الطاقي في البنى تعادل 100 % منه، أي أنه بتطبيق هذه التقنية

سمح بتأمين نسبة 100 % من قيمة استهلاك المبنى من مصدر نظيف متجدد للطاقة وبالتالي تحول المبنى إلى مبنى صفري الطاقة.

يؤدي هذا الى تخفيض تكاليف الطاقة في المبنى بنسبة 100% وذلك بسبب تغطية حمل المبنى الكلي من هذه النوافذ وبالتالي لن نحتاج أية تكاليف إضافية، أي أننا سنحتاج للتكلفة التأسيسية لمنظومة النوافذ فقط، حيث تتميز مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية بأنها ذات تكلفة تأسيسية بينما تتحول بعد عدّة أعوام إلى مشاريع ربحية.

وبحسب المرجع [44] فإنّ انتاج كل 1 كيلو واط من الطاقات المتجددة يعادل تخفيض انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بمقدار 1 كيلو غرام، بالتالي تكون كمية غاز ثاني أكسيد الكربون التي تمّ تخفيضها بتطبيق هذه التقنية تساوي 59 كيلوغرام في اليوم الواحد.

يتم حساب قدرة الألواح الكهرضوئية بالعلاقة (1)

$$P=\frac{E}{PSH} \qquad (1)$$

حيث:

P: قدرة الألواح الكلية.

PSH: عدد ساعات الاشعاع الشمسي المفيد في اليوم.

نضرب الحمل الكهربائي الكلي المطلوب باليوم E بمعامل أمان CF من 20−30 % و ذلك من أجل تعويض الضياعات [45].

$$19044\times1.25= 23805$$

عدد ساعات الشمس المفيدة في اليوم في سوريا PSH= 5 h وبالتالي:

$$P= \frac{23805}{5} = 4761 \text{ W}$$

يعني أننا نحتاج الى استطاعة مقدارها 4761 واط من الزجاج ولدينا 74م² من الواجهات الزجاجية المقابلة للجنوب.

$$\frac{4761}{74} = 64.33 \text{ W}$$

وبالتالي يلزمنا واجهة زجاجية تكون استطاعة الخرج فيها 64.33 واط من المتر المربع الواحد.

6-3 حساب نظام البطاريات:

يتم اختيار جهد النظام 48 فولط [46].

عمق تفريغ البطارية 80% [47].

$$\frac{E}{48} = \frac{23805}{48} = 495.93\ Ah$$

على اعتبار أن الشمس تغيب يومين في فصل الشتاء نضرب الأمبير الساعي بعدد الأيام التي تغيب فيها الشمس:

$$495.93 \times 2 = 991.875\ \text{Ah}$$

لمعرفة سعة البطاريات المطلوبة نقسم الناتج على:[47]

1- عمق تفريغ البطارية 0.8

2- نعتبر أن درجة الحرارة ممكن أن تنخفض في الشتاء إلى 0°c وبالتالي نقسم أيضا علي 0.7

$$Ah_{(bank)} = \frac{991.875}{DOD \times 0.7} \qquad (2)$$

حيث:

$Ah_{(bank)}$: السعة الكلية لنظام البطاريات.

DOD: عمق التفريغ.

بالتعويض نجد:

$$\frac{991.875}{0.8 \times 0.7} = 1771.205\ A$$

لمعرفة عدد البطاريات: تم اختيار بطاريات بسعة 200 أمبير

$$N_{(batteries)} = \frac{Ah_{(bank)}}{Ah_{(battery)}} \quad (3)$$

حيث:

$N_{(batteries)}$: عدد البطاريات.

$Ah_{(battery)}$: سعة البطارية المختارة.

بالتعويض نجد:

$$\frac{1771.205}{200} = 8.85 = 9\ batteries$$

7-3 تحديد سعة العاكس inverter:

$$VA_{INV} = Total\ Power \times CF \quad (4)$$

حيث:

VA_{INV}: سعة العاكس بوحدة فولت أمبير.

CF: عامل أمان نضرب به لتعويض الضياعات [45]

بالتعويض نجد:

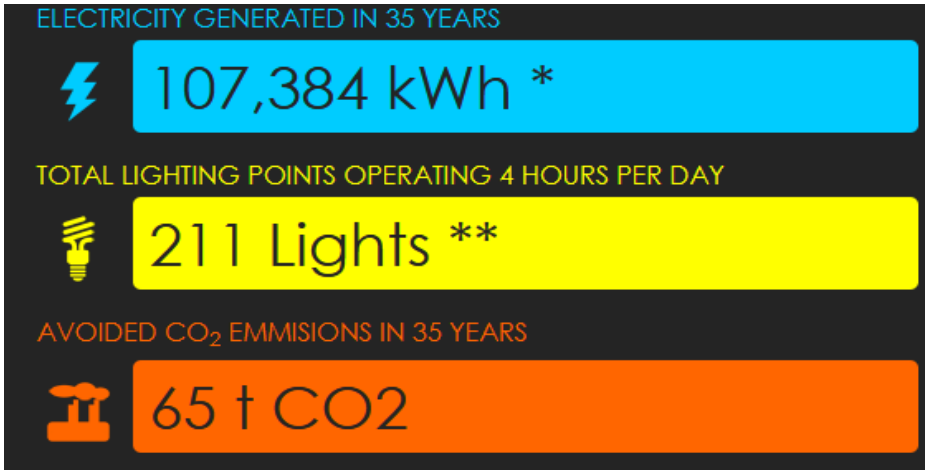
VA_{INV} = 5182×1.25= 6477.5 W

وهي قدرة العاكس المطلوبة.

8-3 نمذجة لحساب النتائج المتوقعة من تطبيق هذه التقنية وفق موقع:

تم استخدام موقع ONYX solar التابع لشركة ONYX solar التي تأسست عام 2009 وهي شركة رائدة عالميًا في صناعة الزجاج الكهروضوئي الشفاف للمباني، يسمح هذا الموقع بإجراء حسابات للاستطاعة المتوقع انتاجها من النوافذ الشمسية الكهروضوئية، وفق المساحة الكلية للواجهات التي يمكن استبدالها في المبنى، يتيح هذا الموقع الحساب على أساس الموقع الجغرافي، ونوع النوافذ

المستخدمة ومساحتها بالمتر المربع، وتوجيه النوافذ، حيث تم تحديد موقع فرع النقابة في اللاذقية ونوع البوليكريستالين والمساحة ب 74 متر مربع وتوجيه النوافذ بشكل عمودي باتجاه الجنوب، فكانت القيم الناتجة كما في الشكل (17).



الشكل (17) نتائج محاكاة الحالة المدروسة على موقعONYX solar

يوضح الجدول (5) نتائج المحاكاة على موقع ONYX Solar :

الجدول5: نتائج النمذجة التي أجريت على موقع ONYX

كمية الطاقة الكهربائية المتوقّع انتاجها خلال 35 عام	107384 كيلو واط ساعي
عدد مصابيح ليد التي يمكن تشغيلها لمدة أربع ساعات يوميا	211 مصباح ليد
كمية تخفيض انبعاثات الكربون خلال 35 عام	65 طن

نلاحظ من الجدول (5) أن كمية الطاقة الكهربائية المتوقّع انتاجها من هذا التطبيق هي 107384 كيلو واط ساعي خلال 35 عام، وتسمح بتشغيل 211 مصباح ليد لمدة أربع ساعات يوميا، كما يقلل انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بمقدار 65 طن على مدى 35 عام.

الفصل الرابع: النتائج والتوصيات

Chapter (4):

ملخص الفصل: يستعرض هذا الفصل النتائج التي تم التوصل إليها بعد الانتهاء من البحث، بالإضافة إلى تقديم بعض التوصيات.

مخطط الفصل:

1- النتائج
2- التوصيات

النتائج:

1- تتميز سورية بالعديد من المقومات الطبيعية وتمتلك موقع جغرافي مميز مما يوفر لها امكانيات كبيرة في مجال الاستثمار بالطاقات المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية حيث تعتبر قيمة الاشعاع الشمسي4.8 مؤشرا هاماً على القدرة على استغلال الطاقة الشمسية وإنتاج الكهرباء بكفاءة عالية.

2- تم تخفيض انبعاثات الكربون بفضل هذه النوافذ بمقدار 59 كغ في اليوم الواحد. وبالتالي فإن انتاج الكهرباء من النوافذ الكهرضوئية يساهم في حماية البيئة.

3- امكانية استخدام منظومات الخلايا الشمسية مما يسهم في ترشيد استنزاف الطاقة الكهربائية المنتجة من الوقود الأحفوري في محطات الطاقة الكهربائية أو الاستغناء عنها كليا في المباني الحكومية كونها مباني تشغل خلال أوقات النهار.

4- تبين من الدراسة السابقة أن استبدال 74 م² من النوافذ التقليدية بنوافذ كهروضوئية من نوع بوليكريستالين في فرع نقابة المهندسين في اللاذقية أدى إلى انتاج 59 كيلوواط ساعي في اليوم الواحد، وبالتالي تحقق الهدف وتم تغطية الحمل الكهربائي بشكل كلي والوصول إلى مبنى صفري الطاقة.

التوصيات:

1- تشجيع وتكثيف البحث العلمي في مجال الطاقات المتجددة في سورية.

2- تدريب وتطوير الكوادر الشابة الوطنية ونشر ثقافة الطاقة المتجددة بين أبناء الجيل الجديد في المدارس والجامعات.

3- التشجيع على القيام بمشاريع كبيرة على مستوى القطر للاستفادة منها كمصدر آخر للطاقة خاصة في الظروف الراهنة وأزمات الطاقة العالمية.

4- ضرورة توسيع دائرة استخدام الطاقة المتجددة وعدم حصرها في انتاج الكهرباء.

5- تقديم تسهيلات من الدولة للصناعيين وذلك لتشجيع القطاع الخاص على الاستثمار في الطاقة المتجددة وتوفير المتطلبات الأولية اللازمة لها.

6- التأكيد على ضرورة تطوير أساليب البناء وذلك من أجل تسهيل دمج منظومات الطاقة بالمباني وذلك من أجل الوصول إلى جيل جديد من المباني تكون فيه الخلايا الكهرضوئية متكاملة مع البناء.

7- قيام الدولة باتخاذ اجراءات صارمة ووضع إطار تشريعي للقيام بمشاريع الطاقة المتجددة.

المراجع:

[1] اسماعيل، ‘أهمية الاستثمار في الطاقة المتجددة لتحقيق ثنائية حماية البيئة وتعويض نضوب مصادر الطاقة التقليدية’، 2021, and معاش، فتحي، فرديه.

[2] S. N. Abdul Latif *et al.*, ‘The trend and status of energy resources and greenhouse gas emissions in the malaysia power generation mix’, *Energies*, vol. 14, no. 8, p. 2200, 2021.

[3] A. V. Herzog, T. E. Lipman, and D. M. Kammen, ‘Renewable energy sources’, *Encycl. Life Support Syst. EOLSS Forerunn. Vol.-‘Perspectives Overv. Life Support Syst. Sustain. Dev.*, vol. 76, 2001.

[4] G. Spiridigliozzi, L. Pompei, C. Cornaro, L. De Santoli, and F. Bisegna, ‘BIM-BEM support tools for early stages of zero-energy building design’, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 609, no. 7, p. 072075.

[5] M. Kapsalaki, ‘Economic-efficient design of residential net zero energy buildings with respect to local context’, PhD Thesis, Universidade do Porto (Portugal), 2012.

[6] X. Cao and P. Jin, ‘Solar modulation utilizing VO2-based thermochromic coatings for energy-saving applications’, in *Emerging Solar Energy Materials*, IntechOpen London, UK, 2018.

[7] C. Peng, Y. Huang, and Z. Wu, ‘Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China’, *Energy Build.*, vol. 43, no. 12, pp. 3592–3598, 2011.

[8] B. P. Jelle and C. Breivik, ‘The path to the building integrated photovoltaics of tomorrow’, *Energy Procedia*, vol. 20, pp. 78–87, 2012.

[9] L. Lu and K. M. Law, ‘Overall energy performance of semi-transparent single-glazed photovoltaic (PV) window for a typical office in Hong Kong’, *Renew. Energy*, vol. 49, pp. 250–254, 2013.

[10] B. Liu and S. Duan, ‘Energy efficiency evaluation of building integrated photovoltaic systems with different power configurations’, *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 29, pp. 93–108, 2012.

[11] P. Tonui, S. O. Oseni, G. Sharma, Q. Yan, and G. T. Mola, ‘Perovskites photovoltaic solar cells: An overview of current status’, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, pp. 1025–1044, 2018.

[12] T. Kato, J.-L. Wu, Y. Hirai, H. Sugimoto, and V. Bermudez, ‘Record efficiency for thin-film polycrystalline solar cells up to 22.9% achieved by Cs-treated Cu (In, Ga)(Se, S) 2’, *IEEE J. Photovolt.*, vol. 9, no. 1, pp. 325–330, 2018.

[13] J. Mohtasham, ‘Renewable energies’, *Energy Procedia*, vol. 74, pp. 1289–1297, 2015.

[14] V. C. Nelson, *Introduction to renewable energy*. CRC press, 2011.
[15] D. Maradin, 'Advantages and disadvantages of renewable energy sources utilization', *670216917*, 2021.
[16] S. Asumadu-Sarkodie and P. A. Owusu, 'A review of Ghana's energy sector national energy statistics and policy framework', *Cogent Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 1155274, 2016.
[17] P. A. Owusu and S. Asumadu-Sarkodie, 'A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation', *Cogent Eng.*, vol. 3, no. 1, p. 1167990, 2016.
[18] D. Arvizu *et al.*, 'Direct solar energy', 2011.
[19] D. Arvizu *et al.*, 'Direct solar energy', 2011, Accessed: Dec. 25, 2022. [Online]. Available: https://publications.csiro.au/rpr/pub?list=BRO&pid=changeme:2737&sb=RECENT&n=4&rpp=25&page=196&tr=5026&dr=all&dc4.browseYear=2011
[20] R. Gross, M. Leach, and A. Bauen, 'Progress in renewable energy', *Environ. Int.*, vol. 29, no. 1, pp. 105–122, 2003.
[21] M. S. Chowdhury *et al.*, 'An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling', *Energy Strategy Rev.*, vol. 27, p. 100431, 2020.
[22] A. Awasthi *et al.*, 'Review on sun tracking technology in solar PV system', *Energy Rep.*, vol. 6, pp. 392–405, 2020.
[23] S. R. Bull, 'Renewable energy today and tomorrow', *Proc. IEEE*, vol. 89, no. 8, pp. 1216–1226, 2001.
[24] R. H. Hassanien and L. Ming, 'INFLUENCE OF OPAQUE PHOTOVOLTAIC SHADING ON MICROCLIMATE AND GROWTH OF STRAWBERRY IN GREENHOUSES', *Misr J. Agric. Eng.*, vol. 38, no. 4, pp. 377–390, 2021.
[25] Z. Zheng, A. Nakajima, and S. Masukawa, 'AC distribution system with small photovoltaic cells for the windows of buildings', in *2020 9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, 2020, pp. 55–60.
[26] G. Quesada, D. Rousse, Y. Dutil, M. Badache, and S. Hallé, 'A comprehensive review of solar facades. Opaque solar facades', *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 16, no. 5, pp. 2820–2832, 2012.
[27] D. Arvizu *et al.*, 'Direct solar energy', 2011.
[28] S. Sharma, K. K. Jain, and A. Sharma, 'Solar cells: in research and applications—a review', *Mater. Sci. Appl.*, vol. 6, no. 12, p. 1145, 2015.
[29] M. Caruso, R. Miceli, P. Romano, G. Schettino, and F. Viola, 'Technical and economical performances of photovoltaic generation façades', *Int. J. Smart Grid*, vol. 2, no. 2, pp. 87–98, 2018.

[30] W.-J. Yin, J.-H. Yang, J. Kang, Y. Yan, and S.-H. Wei, 'Halide perovskite materials for solar cells: a theoretical review', *J. Mater. Chem. A*, vol. 3, no. 17, pp. 8926–8942, 2015.
[31] P. Reddy, M. S. Gupta, S. Nundy, A. Karthick, and A. Ghosh, 'Status of BIPV and BAPV system for less energy-hungry building in India—A review', *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 7, p. 2337, 2020.
[32] A. K. Chilvery *et al.*, 'Perovskites: transforming photovoltaics, a mini-review', *J. Photonics Energy*, vol. 5, no. 1, p. 057402, 2015.
[33] H. Kim, H.-S. Kim, J. Ha, N.-G. Park, and S. Yoo, 'Empowering semi-transparent solar cells with thermal-mirror functionality', *Adv. Energy Mater.*, vol. 6, no. 14, p. 1502466, 2016.
[34] P. S. Acharya and P. S. Aithal, 'A Comparative Study of MPPT and PWM Solar Charge Controllers and their Integrated System', in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1712, no. 1, p. 012023.
[35] T. Majaw, R. Deka, S. Roy, and B. Goswami, 'Solar charge controllers using MPPT and PWM: A review', *ADBU J. Electr. Electron. Eng. AJEEE*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2018.
[36] A. Jemaa, O. Zarrad, M. A. Hajjaji, and M. N. Mansouri, 'Hardware implementation of a fuzzy logic controller for a hybrid wind-solar system in an isolated site', *Int. J. Photoenergy*, vol. 2018, 2018.
[37] K. Dubey and M. T. Shah, 'Design and simulation of Solar PV system', in *2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT)*, 2016, pp. 568–573.
[38] S. Deshpande and N. R. Bhasme, 'A review of topologies of inverter for grid connected PV systems', *2017 Innov. Power Adv. Comput. Technol. - PACT*, pp. 1–6, 2017.
[39] U. K. Elinwa, M. Radmehr, and J. E. Ogbeba, 'Alternative energy solutions using BIPV in apartment buildings of developing countries: A case study of North Cyprus', *Sustainability*, vol. 9, no. 8, p. 1414, 2017.
[40] W. E. Alnaser *et al.*, 'First solar radiation atlas for the Arab world', *Renew. Energy*, vol. 29, no. 7, pp. 1085–1107, 2004.
[41] ه. مشقوق، 'تصميم نظام تغذية كهروضوئي لإنارة عمود شارع من الطاقة الشمسية في مدينة اللاذقية', *Tishreen Univ. J.-Eng. Sci. Ser.*, vol. 36, no. 3, 2014.
[42] A. K. Ghosh, C. Fishman, and T. Feng, 'Theory of the electrical and photovoltaic properties of polycrystalline silicon', *J. Appl. Phys.*, vol. 51, no. 1, pp. 446–454, 1980.
[43] D. M. Fébba, R. M. Rubinger, A. F. Oliveira, and E. C. Bortoni, 'Impacts of temperature and irradiance on polycrystalline silicon solar cells parameters', *Sol. Energy*, vol. 174, pp. 628–639, 2018.

[44] ض. جديد، 'دراسة بيئية تحليلية اقتصادية للطاقة الكهروشمسية/حالة محافظة طرطوس'، *مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة الهندسة الكهروميكانيكية والمعلوماتية*، 2020.

[45] W. Ali, H. Farooq, A. U. Rehman, Q. Awais, M. Jamil, and A. Noman, 'Design considerations of stand-alone solar photovoltaic systems', in *2018 International conference on computing, electronic and electrical engineering (ICE Cube)*, 2018, pp. 1–6.

[46] ك. محمد، *الطاقة الكهروشمسية*. مصر الاسكندرية، 2016.

[47] A. M. Thant, T. Z. Oo, and O. Myint, 'Load Estimating and Calculating the Components of Solar System', *Int J Trend Sci Res Dev*, vol. 3, pp. 213–217, 2019.