الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي
الجامعة الافتراضية السورية

Syrian Arab Republic
Ministry of Higher Education
Syrian Virtual University

برنامج ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء

Professional Master Building Information Modeling and Management

عنوان المشروع:

دراسة التبريد المسبق للمباني باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية
(حالة مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية)

إعداد الطالبة: رند اسماعيل

بإشراف:

الدكتورة ضحى جديد

الدكتور بلال زعرور

العام الدراسي: 2022 - 2023

قرار لجنة الحكم

الجامعة الافتراضية السورية
ماجستير نمذجة وإدارة معلومات البناء
اسم الطالبة: رند اسماعيل
الرقم الجامعي: 169286

عنوان البحث:

دراسة التبريد المسبق للمباني باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية
(حالة مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية)

أعضاء لجنة الحكم:

1. الدكتورة ضحى جديد
2. الدكتور بلال زعرور
3. الدكتورة سونيا أحمد

أجيزت هذه الدراسة بتاريخ:

الملخص:

أدى الطلب المتزايد على أجهزة تكييف الهواء في فصل الصيف إلى ارتفاع كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من الشبكة العامة، وزيادة في فواتير الكهرباء. يتم تشغيل أجهزة التكييف في المؤسسات الحكومية خلال فترة الدوام الرسمي في وقت ذروة الطلب على الكهرباء من الشبكة العامة، حيث تكون تعرفة الكهرباء مرتفعة. من أجل إزاحة التبريد من وقت الذروة إلى الوقت الذي تكون فيه قيمة تعرفة الكهرباء أقل، وتخفيض استهلاك المبنى للطاقة، وتخفيض قيمة فواتير الكهرباء، تناولت هذه الدراسة تقنية التبريد المسبق باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

تمت دراسة حالة مبنى فرع نقابة المهندسين في محافظة اللاذقية في سورية، وتعتبر هذه الدراسة الأولى من نوعها في سورية. بينت النتائج أن التبريد المسبق باستخدام نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية يؤدي إلى تخفيض الطلب على التبريد بشكل كبير خلال فترة الدوام، كما أنه يؤدي إلى تخفيض الاستهلاك اليومي من الشبكة العامة حيث انخفض الطلب من 85 كيلو واط ساعي إلى 21.250 كيلو واط ساعي، أما قيمة فاتورة الكهرباء فانخفضت بنسبة 83%. إضافةً لذلك، فقد تبين أن التبريد المسبق يؤدي إلى تخفيض سعة نظام الطاقة الشمسية المطلوبة لتشغيل أجهزة التكييف في المبنى بنسبة 50%، كما يمكن تحقيق انخفاض بقيمة 42.5 كيلوغرام من انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون يومياً بعد القيام بالتبريد المسبق باستخدام نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

Abstract:

The increasing in air-conditioning demand during summer results in a rise in the amount of electrical energy consumed from the electric network, as well as an increase in electricity bills. Air conditioners are operated in governmental facilities during the official working hours, at the time of the peak demand for electricity, when electric costs are the highest. In order to shift the cooling demand out of the peak period into a lower electric cost period, reducing the energy consumption of the building and the value of the electricity bills, this study presents pre-cooling technology using a solar photovoltaic energy system.

The Engineers Association Branch in Latakia was conducted as a case study. This study may be considered the first of its kind in Syria. The results showed that pre-cooling using the solar photovoltaic system led to a significant decrease in the cooling demand during working hours, and in daily consumption from the electric network, as the demand was decreased from 85 kWh to 21,250 kWh. Besides, the value of the electricity bills was decreased by 83%. In addition, pre-cooling lowered the solar energy system capacity that was needed to operate the building's air conditioning equipment by 50%. Also, a reduction of 42.5 kg of CO2 emissions per day could be achieved using PV-pre-cooling system.

الكلمات المفتاحية:

التبريد المسبق – الطاقات المتجددة– المحطات الشمسية الكهرضوئية– تكييف الأبنية – الاستدامة والتنمية المستدامة.

Keywords:

Precooling – renewable energies – solar photovoltaic plants – building air conditioning – sustainability and sustainable development.

الإهداء:

إلى أصحاب الفضل الأكبر..

أمي وأبي

إلى من وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي..

ريما وربا

إلى كل من ساندني ولو بابتسامة..

الشكر والتقدير:

الشكر إلى كل من مد لي يد العون في إعداد هذه الرسالة وأخص بالشكر الدكتورة ضحى جديد والدكتور بلال زعرور لما منحوه لي من وقت وجهد وتوجيه وإرشاد وتشجيع.

إلى الدكتورة سونيا أحمد مديرة برنامج ماجستير إدارة ونمذجة معلومات البناء في الجامعة الافتراضية السورية والتي لم تتوانى لحظة عن تقديم المساعدة لنا طوال مدة دراسة الماجستير.

والشكر لأعضاء لجنة المناقشة لما سيضيفونه إلى هذا البحث من ثراء علمهم وتزويدي بالملاحظات القيمة التي سيكون لها الأثر المفيد على البحث.

وأخيراً الشكر لفرع نقابة المهندسين في اللاذقية على تعاونهم.

الفهرس:

1. الفصل الأول: الإطار العام للبحث 1

1.1 المقدمة: 2
1.2 مشكلة البحث: 3
1.3 فرضية البحث: 4
1.4 أهمية البحث: 4
1.5 أهداف البحث: 4
1.6 منهج البحث: 5
1.7 أدوات الدراسة: 5
1.8 مجتمع وعينة الدراسة: 5

1.9 حدود البحث: 5
الحدود المكانية: 5
الحدود الزمانية: 5
الحدود الموضوعية: 5
1.10 الدراسات المرجعية: 6

2. الفصل الثاني: الإطار النظري للبحث 10

2.1 الطاقات المتجددة وأهميتها: 11
2.2 الطاقة الشمسية الكهروضوئية: 14
2.3 طريقة عمل الخلية الشمسية: 17
2.4 تطبيقات الخلايا الشمسية الكهروضوئية: 18
2.4.1 المحطات الشمسية الكهروضوئية المثبتة على الأرض: 19
2.4.2 مصفوفات شمسية كهروضوئية مناسبة للزراعة تحتها: 20
2.4.3 تحويل زجاج المباني إلى ألواح شمسية كهروضوئية: 20
2.5 التبريد المسبق باستخدام المحطات الشمسية الكهروضوئية المثبتة على السطح: 21
2.5.1 التبريد المسبق: 21
2.5.2 أهداف التبريد المسبق: 23
2.6 محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية المثبتة على الأسطح: 23
2.7 مكونات النظام الشمسي الكهروضوئي المثبت على السطح: 25
2.7.1 الألواح الكهروضوئية: 25
2.7.1.1 مكونات الألواح الكهروضوئية: 26
2.7.1.2 أنواع الألواح الكهروضوئية: 26
2.7.1.3 مقارنة بين تقنية الألواح الشمسية ذات أنصاف الخلايا والألواح الشمسية ذات الخلايا الكاملة: 28
2.7.1.4 العوامل البيئية المؤثرة على كفاءة الألواح الشمسية الكهروضوئية: 30
2.7.2 منظمات الشحن: 31
2.7.2.1 أنواع منظمات الشحن: 31
2.7.3 البطاريات: 33
2.7.4 العواكس: 34
2.7.4.1 أنواع العاكس: 34

3. الفصل الثالث: القسم العملي 37

3.1 توصيف المبنى: 38
3.2 حساب الاستطاعة المطلوبة للتكييف في المبنى: 40
3.3 حساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتشغيل التكييف طوال فترة الدوام: 42
3.3.1 حساب الاستطاعة الكلية للألواح الشمسية الكهروضوئية: 42
3.3.2 حساب قدرة العاكس (INVERTER): 43
3.3.3 حساب نظام البطاريات: 44

3.4 كيفية تطبيق التبريد المسبق في فرع نقابة المهندسين: 45
3.5 حساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتحقيق إزاحة حمل التكييف خارج أوقات ذروة الاستهلاك: 45
3.5.1 حساب سعة الألواح اللازمة في حال تطبيق التبريد المسبق: 46
3.5.2 حساب السعة الكلية لنظام البطاريات المطلوبة: 46
3.6 حساب مقدار الانخفاض في انبعاثات CO_2: 47

4. الفصل الرابع: مناقشة النتائج والاستنتاجات والتوصيات..... 48

4.1 مقدمة:..... 49
4.2 الاستنتاجات:..... 49
4.3 التوصيات: 50
المراجع: 51

قائمة الأشكال:

رقم الشكل	عنوان الشكل
الشكل 1	أنواع الطاقات المتجددة
الشكل 2	تطور الطاقة الكهربائية المنتجة من تكنولوجيا الطاقة المتجددة خلال المدة (2010-2019)
الشكل 3	القدرة التراكمية العالمية للطاقة الشمسية الكهروضوئية حسب المنطقة (2010-2030)

الشكل 4	تقاطع PN في الخلية الشمسية
الشكل 5	مبدأ عمل الخلية الشمسية
الشكل 6	محطة Perovo الشمسية الضوئية
الشكل 7	تركيب مصفوفات كهروضوئية للزراعة تحتها في ألمانيا وتشيلي
الشكل 8	نوافذ ذات زجاج مفرد ونوافذ ذات زجاج مزدوج
الشكل 9	توضيح تخطيطي لتحويل الحمل عن طريق التبريد المسبق
الشكل 10	أهداف التبريد المسبق
الشكل 11	مكونات النظام الشمسي
الشكل 12	مكونات اللوح الشمسي
الشكل 13	أنواع الألواح الكهروضوئية
الشكل 14	الألواح ذات أنصاف الخلايا والألواح الكاملة
الشكل 15	طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بالعاكس المركزي
الشكل 16	طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بعاكس السلسلة
الشكل 17	طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بالعاكس متعدد السلاسل
الشكل 18	طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بالعاكس الصغير
الشكل 19	مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية
الشكل 20	موقع فرع نقابة المهندسين في اللاذقية
الشكل 21	عدد الساعات الشمسية حسب أطلس الإشعاع الشمسي

قائمة الجداول:

رقم الجدول	عنوان الجدول
الجدول 1	توزع الغرف واستخداماتها واتجاهاتها داخل الجزء المخصص من المبنى لفرع نقابة المهندسين
الجدول 2	كمية الاستطاعة المستهلكة للتكيف من أجل كل غرفة

قائمة المصطلحات:

المصطلح باللغة الانكليزية	تعريف المصطلح باللغة الانكليزية	تعريف المصطلح باللغة العربية
MPC	Optimization-based model predictive controller	وحدة تحكم تنبؤية قائمة على التحسين
PV	Photovoltaic	الطاقة الشمسية الكهروضوئية
DC	Direct current	التيار المستمر
AC	Alternating Current	التيار المتناوب
BIPV	Building-integrated photovoltaics	أنظمة الطاقة الشمسية المتكاملة مع المباني
LCOE	Levelized cost of energy	التكلفة المستوية للطاقة
Mono-Si	Monocrystalline	أحادي البلورة
Poly-Si	Polycrystalline	متعدد البلورات
TF	Thin film	الأغشية الرقيقة
PWM	Pulse width modulation	تعديل عرض النبضة

MPPT	Maximum power point tracking	تتبع نقطة الطاقة القصوى
FLA battery	Flooded Lead Acid battery	بطارية الرصاص المغمورة
VRLA battery	Valve Regulated Lead Acid battery	بطارية الرصاص الغير مغمورة

قائمة الرموز:

الرمز	تعريف الرمز
E	الطاقة الكلية المطلوبة في اليوم
P	قدرة الألواح الكلية
PSH	عدد ساعات الإشعاع الشمسي المفيد في اليوم

سعة العاكس بوحدة فولت أمبير	VA_{inv}
عامل الأمان	CF
السعة الكلية لنظام البطاريات	$Ah_{(bank)}$
عمق التفريغ	DOD
عدد البطاريات	$N_{(batteries)}$
سعة البطارية المختارة	$Ah_{(battery)}$
عدد ساعات التشغيل في اليوم	T_U

1. 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 وأهدافه، والدراسات السابقة.

مخطط الفصل:

- المقدمة.
- مشكلة البحث.
- فرضية البحث.
- أهمية البحث.
- أهداف البحث.
- منهج البحث.
- مجتمع وعينة الدراسة.
- حدود البحث.
- الدراسات المرجعية.

1.1 المقدمة:

تعتبر المباني مسؤولة عن جزء كبير من الاستهلاك العالمي للطاقة، بالتالي يمكن اعتبارها مصدر كبير لانبعاثات الغازات الدفيئة التي بدورها تلعب دوراً كبيراً في الاحتباس الحراري.

من جهةٍ أخرى، يتم استهلاك جزء كبير من هذه الطاقة في المباني بمختلف أنواعها السكنية والحكومية والتجارية من أجل التكييف، وهذا ينعكس على قيم التكاليف المادية لمالكي ومستخدمي هذه الأبنية. حيث أصبح التكييف ضرورة ملحّة في الحياة المعاصرة ويؤثر على انتاجية الفرد والتجهيزات في نفس الوقت، ويشمل التحكم بدرجات حرارة الهواء والرطوبة الداخلية للمبنى، وتظهر الحاجة الماسّة للتكيف في فصل الصيف بسبب زيادة الأحمال الحرارية خاصةّ في المباني التي تستخدم الواجهات الزجاجية في عمارتها.

بدأ العالم في القرن الماضي بإنتاج الطاقة الكهربائية من مصادر متجددة صديقة للبيئة، وأصبح التوجّه كبير مؤخراً لاستخدام هذه المصادر في الأبنية من أجل تأمين الطاقة الكهربائية اللازمة لها من مصادر متجددة تساهم في الحد من الاحتباس الحراري، وبالفعل بدأت العديد من الدول بالالتزام بتقليل اعتمادها على الطاقة الناتجة عن المصادر التقليدية مثل الوقود الأحفوري والفحم الحجري، من خلال تضمين التقنيات المتقدمة للاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة لإنتاج الكهرباء، وهذا لا يدعم فقط التوفير في استهلاك الطاقة إنما يساهم في تحقيق معايير هامة من معايير التنمية المستدامة.

ويمكن اعتبار تطبيق تقنيات الطاقات المتجددة على أسطح المباني يحقق عدة أهداف للتنمية المستدامة، أحدها مرتبط بتوفير الطاقة الكهربائية وبأسعار مقبولة، والآخر هو العمل من أجل المناخ والتخفيف من الآثار الخطيرة الناجمة عن الانبعاثات، وقد أصبح استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الأبنية بغرض التكييف إحدى التقنيات الرائدة التي تجذب المهندسين حيث تتمتع هذه التقنيات بالعديد من المزايا بما في ذلك خفض الانبعاثات، إضافةً إلى أهميتها من الناحية المادية والوفورات الكبيرة في الفواتير التي يمكن تحقيقها.

يكون الطلب مرتفعاً على الطاقة في المباني عند درجات الحرارة المرتفعة وخصوصاً بغرض التكييف، وقد يترافق ارتفاع الطلب هذا على الطاقة مع ذروة الاستهلاك الطاقي، وهذا ينعكس على كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من الشبكة، وقد يؤثّر على استقرارها وعلى مستوى التوليد والنقل والتوزيع، إضافةً

إلى الكلف المادية المرافقة الناتجة عن ارتفاع سعر الكهرباء خلال فترات الذروة، ولهذا كانت فكرة التبريد المسبق للمباني.

التبريد المسبق للمباني يعني إزاحة ذروة الطلب على الطاقة من أجل التكييف إلى خارج ساعات الذروة أي تشغيل مكيفات الهواء قبل بداية الذروة وإيقاف تشغيلها خلال فترة الذروة، وذلك من خلال الاستفادة من تخزين الطاقة في الكتلة الحرارية للمباني أي شحن الكتلة الحرارية للمبنى قبل بداية ذروة الطلب عن طريق تقليل درجة حرارتها، ثم تفريغ البرودة خلال فترة الذروة. أما التبريد المسبق باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية، فيعني استخدام فائض توليد الطاقة الشمسية الكهروضوئية المولدة محليًا من محطات مركبة على أسطح المباني لتبريدها مسبقاً قبل وقت الذروة وذلك للمحافظة على درجة حرارة داخلية مناسبة لبعض الوقت مع السماح للمكيفات بالتأخر بالتشغيل أو ربما تجاوز ذروة التشغيل تماماً.

ومحلياً، تعاني المنظومة الكهربائية من محطات التوليد والتحويل وخطوط النقل والتوزيع من أضرار كبيرة أدت إلى انخفاض إمدادات الطاقة بشكل كبير، إضافةً إلى النقص الحاصل في كميات الوقود والنفط نتيجة للحصار الاقتصادي، وهذا استدعى البدء وبخطى متسارعة وبدعم وتوجيه حكومي نحو استخدام الطاقات المتجددة، وخاصة أن سورية تعتبر من البلدان الغنية بمصادر الطاقة المتجددة وخاصةً الشمسية، حيث تبين الخرائط الشمسية العالمية أن تركيب المحطات الشمسية الكهروضوئية في سورية مجدية اقتصادياً وتنتج كميات جيدة من الطاقة الكهربائية.

سنقوم في هذا البحث بدراسة التبريد المسبق لمبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية، من خلال حساب كمية الطاقة المستهلكة في المبنى من أجل التبريد وحساب الاستطاعة الكهروضوئية اللازمة لتحقيق الاستهلاك، ودراسة التأثير على الفواتير الكهربائية وكمية التوفير في انبعاثات غاز CO_2 التي يمكن تحقيقها.

1.2 مشكلة البحث:

تتلخص المشكلة البحثية في الزيادة الكبيرة في كمية الطاقة المستهلكة في المباني، إضافةً إلى زيادة الحمل الكهربائي من أجل التبريد بشكل كبير في وقت الذروة في الأيام الحارة، كما أن الاستفادة من الطاقات المتجددة لا تزال في مرحلة التطبيق المحدود وخاصةً في المباني.

1.3 فرضية البحث:

تفترض هذه الدراسة أنه يمكننا تخفيض استهلاك الطاقة الكهربائية من المصادر التقليدية في المبنى المختار وذلك باستخدام الألواح الشمسية الكهروضوئية، كما تبين الدراسة أنه يمكن تخفيف الحمل الحاصل وقت الذروة عن طريق تطبيق التبريد المسبق في المبنى بالاعتماد على الطاقة الشمسية الكهروضوئية، إضافةً إلى تحقيق وفورات في فواتير الكهرباء، وبالتالي يجب التحقق من فعالية هذه الفرضية.

1.4 أهمية البحث:

تبرز أهمية هذا البحث من كونه يركز على تقليل استهلاك الطاقة الكهربائية وتخفيض الضغط الشديد الحاصل عند ذروة الطلب من أجل التكييف، وذلك نظراً لأهمية الطاقة فهي تشكل بأنواعها المختلفة أساس حياتنا وأساس استمرارنا، حيث لا يخلو جانب من جوانب الحياة من أحد أنواع الطاقة المختلفة، لكن لسوء الحظ فإنّ 80% من الطاقة المستهلكة عالمياً تأتي من مصادر غير مُتجددة مثل النفط والغاز، وقد يأتي اليوم الذي تنفد فيه، كما أنها المصدر الأساسي لانبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون المرتبط مباشرةً بالتغير المناخي الذي يُعد القضية الأبرز التي تواجه البشرية. وإن استهلاك المباني السكنية والتجارية لنسبة كبيرة من الطاقة ومساهمتها في انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون جعل تحسين استهلاك الطاقة وإنتاجها الذاتي في هذه المباني أمراً بالغ الأهمية. ويعد هذا البحث الأول من نوعه في سورية.

1.5 أهداف البحث:

يمكن تحديد أهداف البحث فيما يلي:

1. بيان الاستطاعة المطلوبة من الطاقة الشمسية الكهروضوئية لتكييف المبنى.
2. دراسة تأثير التبريد المسبق في المبنى المختار على وقت الذروة والطاقة المستهلكة في المبنى وفواتير الكهرباء.
3. حساب كمية التخفيض في انبعاثات الغازات الدفيئة في الجو عند تطبيق هذه التقنية.

1.6 منهج البحث:

سيتم في هذا البحث اتباع المنهج الوصفي لدراسة أهمية استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية كبديل عن الطاقات التقليدية، إضافة إلى أهمية التبريد المسبق في المباني بالاعتماد على الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

كما سيتم استخدام المنهج التجريبي وذلك بدراسة حالة مبنى لإثبات فروض البحث.

1.7 أدوات الدراسة:

الملاحظة: عن طريق زيارة مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية لتحديد الحمل الكهربائي المطلوب لتكييف المبنى.

الوثائق والسجلات المكتوبة: وذلك بالاستعانة بالوثائق والسجلات الرسمية للحصول على معلومات حول الغرف في المبنى.

1.8 مجتمع وعينة الدراسة:

تم إجراء البحث على مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية والمكون من طابقين.

1.9 حدود البحث:

الحدود المكانية: تم تحديد الإطار المكاني في الجمهورية العربية السورية في محافظة اللاذقية.

الحدود الزمانية: إن الإطار الزمني هو في مرحلة إعادة الإعمار في سوريا. المدة الزمنية المستغرقة في إنجاز هذه الدراسة بدأت في شهر أيلول عام 2022 وحتى شهر كانون الأول عام 2022.

الحدود الموضوعية: تركز هذه الدراسة على بيان الأثر الإيجابي لاستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في تطبيق التبريد المسبق.

1.10 الدراسات المرجعية:

تم تطوير واختبار إستراتيجية التحكم في تبريد المبنى لمبنى إداري بمساحة 1.4 مليون قدم مربع (130.000 متر مربع) من قبل كيني وبراون. يقع المبنى في هوفمان إستيتس، إلينوي. كان الهدف من استراتيجية التحكم هو استخدام الكتلة الحرارية للمبنى للحد من ذروة حمل التبريد لاستمرار تشغيل المبنى في حالة فقدان إحدى وحدات التبريد المركزية الأربعة. قدم التبريد المسبق لكتلة المبنى بديلاً اقتصاديًا لشراء وحدة تبريد إضافية، حيث كانت التكلفة التقديرية لتركيب مبرد إضافي حوالي 500000 دولار. أظهرت نماذج الكمبيوتر التي تم تطويرها لهذا المشروع أيضاً أن التبريد المسبق المستند إلى تقليل تكلفة التبريد يمكن أن يؤدي إلى توفير ما يقرب من 25000 دولار شهرياً خلال ذروة موسم التبريد. تم التحقق من صحة نموذج المبنى بالنتائج التجريبية ويمكن استخدامه في تطوير استراتيجية تقليل التكلفة [1].

قام الباحث براون وآخرون بتطوير إستراتيجية التبريد المسبق لمركز آيوا للطاقة iowa Energy Center في الولايات المتحدة. على الرغم من أن المبنى لم يكن مناسباً لتنفيذ التبريد المسبق نظراً لأنه يتألف من طابق واحد مع مساحة سطح خارجية عالية بالنسبة إلى الحجم، وعدم وجود أثاث داخلي، والأرضية مفروشة بالسجاد، فقد لوحظ انخفاض إجمالي في الطلب على مكيفات الهواء بنسبة 9٪. علاوة على ذلك، تم تسليط الضوء على تأثير اتجاه كل غرفة على الحد من ذروة الطلب على التكييف. كان الحد الأقصى لخفض الطلب على التكييف هو الأكبر في الغرف الواقعة على الجانب الشرقي من المبنى لأن ذروة الطلب على التكييف تحدث في وقت سابق في الغرف الشرقية عندما تكون الكتلة الحرارية أكثر برودة وتعمل بشكل أفضل كمشتت حراري [2].

أعدت دراسة من قبل تيرنر وآخرون لبيان استراتيجيات مختلفة للتبريد المسبق في 15 منطقة مناخية أمريكية تغطي مجموعة واسعة من مناخات العالم. تمت هذه الدراسة على المنازل ذات الإطار الخشبي خفيف الوزن، تم تحقيق التبريد المسبق الميكانيكي عن طريق تشغيل مكيف الهواء عند نقاط ضبط درجة حرارة أقل من المعتاد وذلك قبل فترة ذروة طلب التبريد. وتبين أنه يمكن للتبريد الميكانيكي المسبق باستخدام مكيف الهواء إزالة ما يصل إلى 97٪ من ذروة حمل التبريد، ويعتمد هذا بشكل كبير على المنطقة المناخية وطول فترة التبريد المسبق ونقطة ضبط التبريد المسبق. وتوصلت هذه الدراسة إلى أنه من أجل تحقيق أقصى قدر من التوفير في طاقة التبريد في فترة الذروة واستخدام أقل قدر من

طاقة التبريد، يجب أن تستخدم المناخات التي تحتاج إلى تبريدٍ عالٍ إطاراً زمنياً قصيراً للتبريد المسبق (4 ساعات) مع أعلى درجات التبريد المسبق، وكانت نقطة ضبط درجة حرارة التبريد (23.3 درجة مئوية أو 74 درجة فهرنهايت)، والمناخات ذات متطلبات التبريد الأقل يجب أن تستخدم نقطة ضبط درجة حرارة عالية (23.3 درجة مئوية أو 74 درجة فهرنهايت)، ولكن يصبح طول فترة التبريد المسبق أقل أهمية. ستؤدي فترة التبريد المسبق الأطول إلى تقليل حمل التبريد الأقصى ولكن على حساب زيادة استخدام الطاقة أثناء تنفيذ التبريد المسبق. كما بينت الدراسة أنه لا يُنصح بالتبريد المسبق في (سان فرانسيسكو، كاليفورنيا) أو المنطقة المناخية (فيربانكس، ألاسكا) حيث أنه لم يكن هناك أي ميزة من التبريد المسبق لأن استخدام تكييف الهواء في هذا المناخ قريب من الصفر [3].

أجريت دراسة من قبل الباحث جونسون للتبريد المسبق باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على مبنى سكني في هونغ كونغ في الصين، تم ضبط درجة الحرارة على 22 درجة مئوية حتى الساعة الثانية ظهراً حيث يمكن لمكيف الهواء الحفاظ على هذه الحرارة بالاعتماد فقط على الطاقة الشمسية. أظهرت النتائج أنه بهذه الطريقة تم ايقاف الطلب على التبريد أثناء المساء وخفضه بشكل كبير في الصباح الباكر وبلغ الطلب على الطاقة الكهربائية من الشبكة العامة 5 كيلو واط ساعة في اليوم، مقارنة بـ 19 كيلو واط ساعة بدون القيام بالتبريد المسبق [4].

في دراسة قام بها اربابادي وآخرون في مدينة فينكس تم التحقيق في تأثير التبريد المسبق باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية على التوفير في فاتورة الكهرباء ومقارنة أنواع مختلفة من المباني، لوحظ أداءً أفضل للتبريد المسبق في مباني البلوك مقارنة بالمباني ذات الهياكل الخشبية، وتوفير 61 دولارًا أمريكيًا و21 دولارًا أمريكيًا في السنة في فواتير الكهرباء على التوالي، وتبين أن التبريد المسبق الشمسي يمكن أن يوفر الراحة الحرارية خلال اليوم [5].

تم تطبيق التبريد المسبق من قبل فيشواناث وآخرون على مبنى مكاتب كبير يقع في أستراليا، حيث تم القيام بالتبريد المسبق قبل ساعات قليلة من السابعة صباحاً، مما أدى إلى بقاء درجة الحرارة بين حدود الراحة الحرارية السفلية والعليا خلال فترة 24 ساعة، حيث تم الحفاظ على درجة حرارة 25 درجة مئوية خلال ساعات العمل وما يقرب من 27 درجة مئوية خلال ساعات خارج المكتب. وأظهرت النتائج التي امتدت لعدة أيام في فترة ارتفاع الطلب في الصيف أن التبريد المسبق يمكن أن يؤدي إلى خفض يصل إلى 35٪ في ذروة الطاقة، و 28٪ في استهلاك الطاقة و 34٪ في فواتير الطاقة [6].

طور تاباريس وآخرون وحدة تحكم تنبؤية قائمة على التحسين Optimization-based model predictive controller (MPC) لتقليل تكلفة كهرباء اللازمة للتكييف وتقليل الانزعاج الحراري في دراسة تمت على مبنى سكني مكون من طابقين في سكرامنتو في كاليفورنيا. أظهرت النتائج أن نقطة ضبط درجة الحرارة المثلى تتبع استراتيجية التبريد المسبق لتجنب استخدام الكهرباء خلال أوقات الطلب في الذروة، وتبين تحقيق وفورات في التكاليف تتراوح من 5٪ إلى 30٪، مع حصول توفير أعلى ناتج عن الحالات التي تكون فيها فترة الذروة ثلاث ساعات وخمس ساعات. تبين أنه قد لا يكون التبريد المسبق مربحاً مع فترة الذروة الطويلة [7].

توصل الباحث شين وآخرون بعد دراسة قام بها على مبنى مكاتب في الصين إلى أن التبريد المسبق إستراتيجية مهمة يجب أخذها في الاعتبار لتحسين الحد من ذروة الحمل للمبنى. وأن التبريد المسبق يمكن أن يتيح المزيد من سعة التبريد المخزنة في الكتلة الحرارية الداخلية ويقلل بشكل كبير من طلب الحمل خلال وقت الذروة. كما بينت الدراسة أن المواصفات الفنية للكتلة الحرارية تساهم في توفير تكلفة التكييف، وتقليل الطلب عليه عند وقت الذروة. تزداد القدرة على تقليل الحمل مع زيادة وزن الكتلة الحرارية، ومع ذلك تنخفض هذه الزيادة بعد أن يتجاوز وزن الكتلة الحرارية 120 كغ / م^2 . والسبب الرئيسي لذلك هو أن الكتلة الحرارية تتكتل لتصل إلى كتلة كبيرة، مما يجعل من الصعب تحرير سعة التبريد المخزنة، إضافةً إلى ذلك تؤثر سماكة الكتلة الحرارية على معدل إطلاق الحرارة حيث أن الكتلة الحرارية الرقيقة تطلق الحرارة المخزنة بسرعة بينما تطلق الكتلة الحرارية السميكة الحرارة بشكل أبطأ [8].

قام نادري وآخرون بمحاكاة التبريد المسبق لتسعة أنواع مختلفة من المساكن الموجودة في سيدني، لفهم التوفير المحتمل في التكلفة للأسر. تم تصنيف المباني إلى نجمتان و6 نجوم و8 نجوم لثلاث أوزان مختلفة للبناء، خفيفة ومتوسطة وثقيلة. أدى التبريد المسبق في المباني من فئة 6 نجوم و8 نجوم إلى توفير إيجابي في التكلفة لجميع الأيام تقريباً خلال فترة الدراسة. كما أدى التبريد المسبق في المباني ذات الوزن المتوسط والثقيل من فئة 6 نجوم وجميع المباني من فئة 8 نجوم إلى توفير أكثر من 50٪ في التكلفة لجميع الأيام. مما يعني أنه يمكن للناس توفير ما لا يقل عن 50٪ من تكلفة الكهرباء المنسوبة إلى تشغيل مكيفات الهواء الخاصة بهم. أما في المباني ذات النجمتين، خاصة تلك التي تحتوي على مواد بناء خفيفة الوزن، يمكن ملاحظة التوفير السلبي في التكاليف في بعض الأيام، حيث تدفع بعض الأسر تكاليف كهرباء أعلى من السيناريو الأساسي، إذا قاموا بتبريد مبانيهم مسبقاً.

والسبب هو أنه في الأيام الحارة، يتم تبريد المبنى مسبقاً لتقليل أو تجنب الانزعاج الحراري، حتى لو أدى ذلك إلى ارتفاع تكاليف الكهرباء اليومية. وذلك لأنه على الرغم من تبريد المبنى مسبقاً، لا يمكن إيقاف تشغيل مكيف الهواء خلال ساعات الذروة. قد يكون ذلك بسبب عدم قدرة المباني ذات النجمتين على الاحتفاظ بالبرودة لفترة من الوقت، وكذلك استجابتها السريعة للبيئة المحيطة [9].

2. الفصل الثاني: الإطار النظري للبحث

Chapter (2): Theoretical Framework

ملخص الفصل:

يستعرض هذا الفصل أهمية الطاقات المتجددة وأهم تطبيقات الطاقة الشمسية الكهروضوئية مع التركيز على التبريد المسبق باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

مخطط الفصل:

- الطاقة المتجددة وأهميتها
- الطاقة الشمسية الكهروضوئية
- طريقة عمل الخلية الشمسية الكهروضوئية
- أهم تطبيقات الطاقة الشمسية الكهروضوئية
- التبريد المسبق باستخدام نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية
- محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية المثبتة على الأسطح
- النظام الشمسي الكهروضوئي المثبت على السطح

2.1 الطاقات المتجددة وأهميتها:

تعتبر الطاقات المتجددة عنصر هام في تحقيق التنمية في جوانبها المتعددة، حيث أنه من الضروري توفر الطاقة في جميع المجالات وخاصة بعد التطور الحاصل في العالم والنقص في الوقود الأحفوري الذي يعد استخدامه ضاراً للمجتمعات البشرية والبيئة. كل هذا استدعى ضرورة البحث عن طاقة بديلة ونظيفة ودائمة ونابعة من مصادر طبيعية، ولا تنعكس سلبا على البيئة وذلك للحد من التلوث البيئي، وتخفيف الضغط على استخدام الطاقة التقليدية [10].

إن الطاقات المتجددة صديقة للبيئة على عكس الطاقة التي تعتمد على الوقود الأحفوري والبترول التي تؤثر سلباً على البيئة. ينتج عن تعدين الفحم والتنقيب عن البترول نفايات صلبة سامة مثل الزئبق والرصاص والمعادن الثقيلة الأخرى. كما أن حرق الفحم لتوليد الكهرباء يستخدم كميات كبيرة من المياه التي غالباً ما تصرف الزرنيخ ومركبات الرصاص في المياه السطحية وتطلق ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والزئبق في الهواء. تسبب هذه الملوثات أمراض الجهاز التنفسي والموت للبشر، وتؤثر على جميع الكائنات الحية على الأرض، وتنتج أمطاراً حمضية تدمر المباني وتدمر النظم البيئية الهشة، وتستنفذ طبقة الأوزون من خلال الاحتباس الحراري.

إن استخراج الوقود الأحفوري يرافقه العديد من مخاوف السلامة كالانفجارات وانهيار مناجم الفحم. على العكس من ذلك، فإن هذه المخاوف غير موجودة مع الطاقة المتجددة فالعثور عليها أمر سهل. إلى جانب ذلك، إن السعر اليومي للنفط يعتمد على عوامل مختلفة ومن ضمنها الاستقرار السياسي في العالم فإن حدوث الأزمات السياسية يتسبب في أزمات حادة في الطاقة. أما الطاقة المتجددة فيمكن إنتاجها محلياً وبالتالي هي ليست عرضة للاضطرابات السياسية.

السمة الأكثر أهمية للطاقات المتجددة هي وفرة إمدادها فهي متوافرة بشكل لانهائي في مختلف أرجاء الأرض، وبالتالي هي مناسبة للأماكن والتجمعات السكانية البعيدة عن المدن أو بالأحرى البعيدة عن شبكات الكهرباء والغاز، وإن تكلفتها تعتمد فقط على رأس المال المستثمر الأولي وخالية من التكاليف المتقلبة للفحم والنفط والغاز الطبيعي وبالتالي يمكنها أن تجعل أسعار الكهرباء مستقرة [11]. كما تساهم الاستثمارات وتطبيق تقنيات الطاقات المتجددة بشكل كبير في النمو الاقتصادي وتعزيز الأعمال الجديدة وزيادة فرص العمل [12].

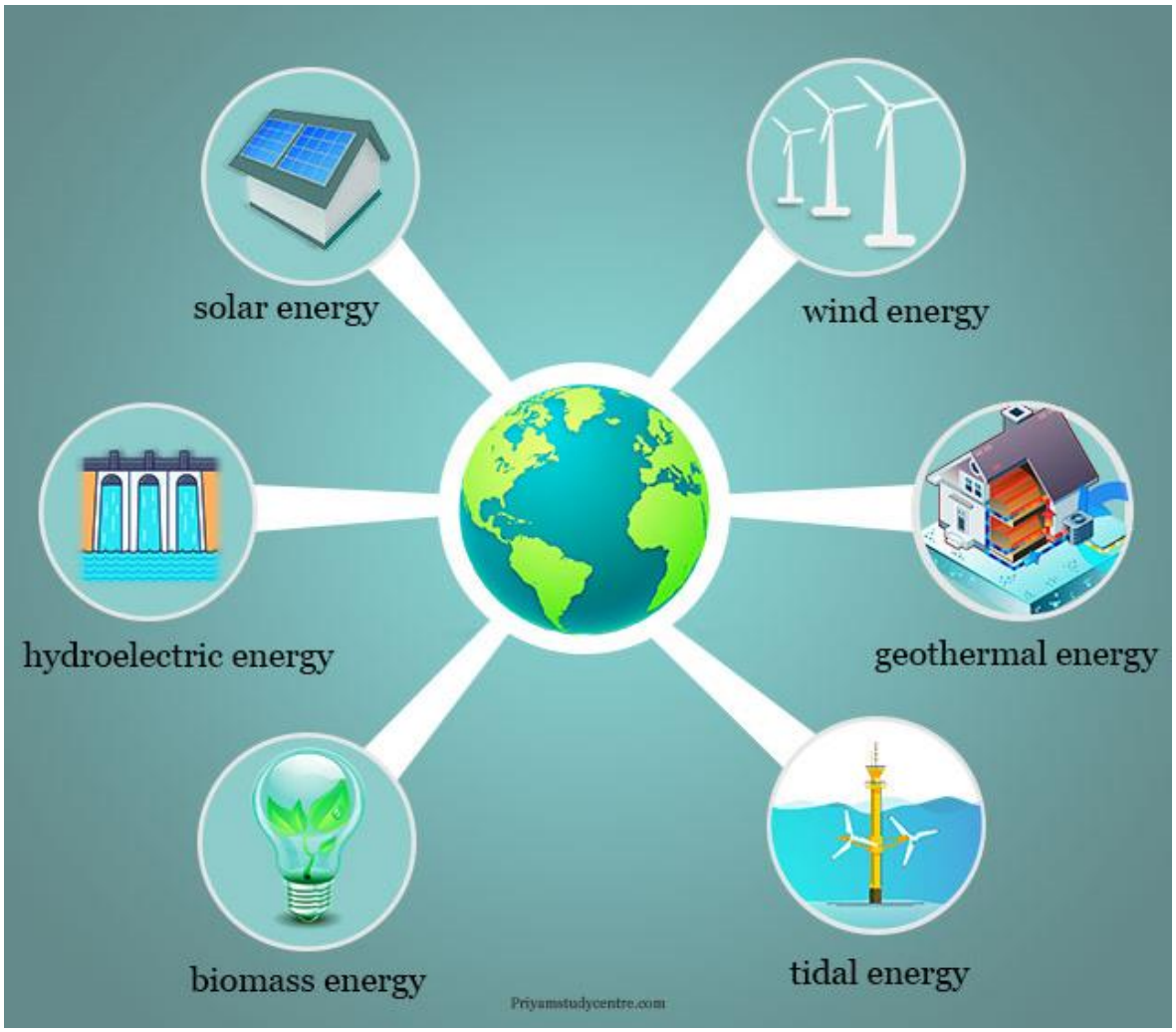
في الوقت الحاضر اكتسبت الطاقات المتجددة استخداماً أوسع لتوليد الطاقة في جميع أنحاء العالم، وهذا يرجع بشكل خاص إلى قلق المجتمع بشأن القضايا البيئية الناجمة عن الطريقة التقليدية [13]. كما ساهمت التطورات التكنولوجية في رفع كفاءتها لتصبح بديلاً عن الطاقات التقليدية غير المتجددة في العالم لمواجهة تحديات الطاقة.

على مستوى الدول العربية، شهدت السنوات الأخيرة انتشاراً واسعاً للطاقات المتجددة في عدة دول عربية، لاسيما مع وضع العديد من الاستراتيجيات والسياسات التي تركز على الطاقات المتجددة بالإضافة إلى دعم مؤسسات التمويل الدولية للاستثمارات في مجال الطاقات المتجددة [14].

تضم الطاقات المتجددة ست مجموعات رئيسية وهي:

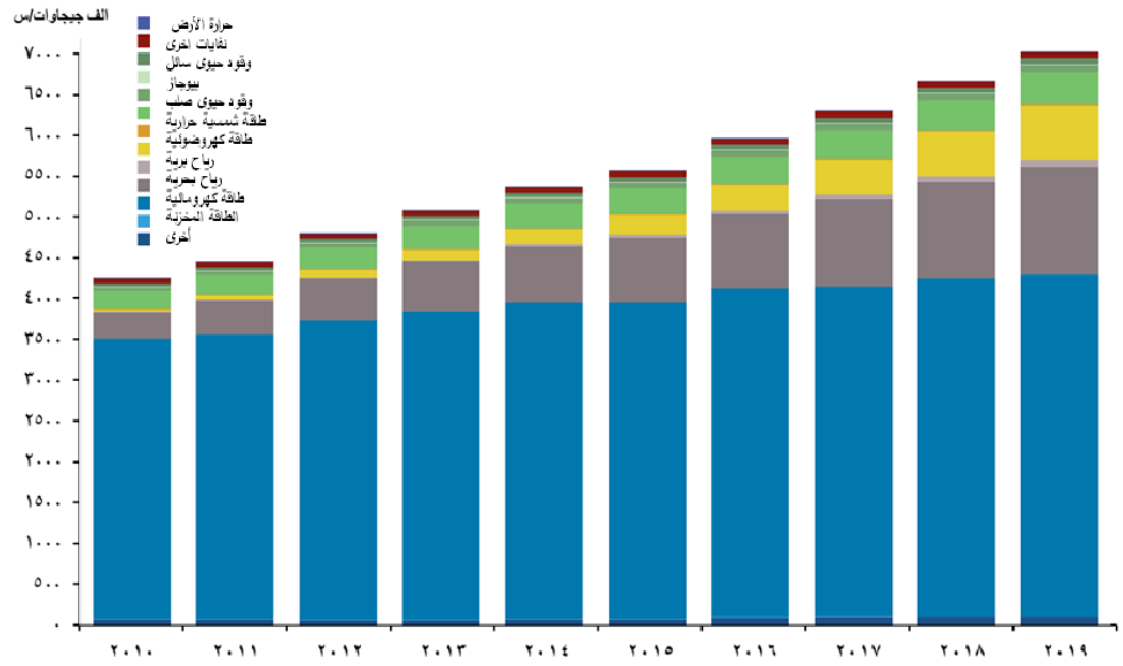
1. الطاقة الشمسية.
2. الطاقة المائية.
3. طاقة الرياح.
4. الطاقة الحيوية.
5. الطاقة الحرارية الأرضية.
6. طاقة المد والجزر.

لكل منها كفاءة وظروف تشغيل خاصة بها ويعتمد اختيار التقنية المناسبة من تقنيات الطاقة المتجددة على الموقع والحالة [13].



الشكل (1): أنواع الطاقات المتجددة

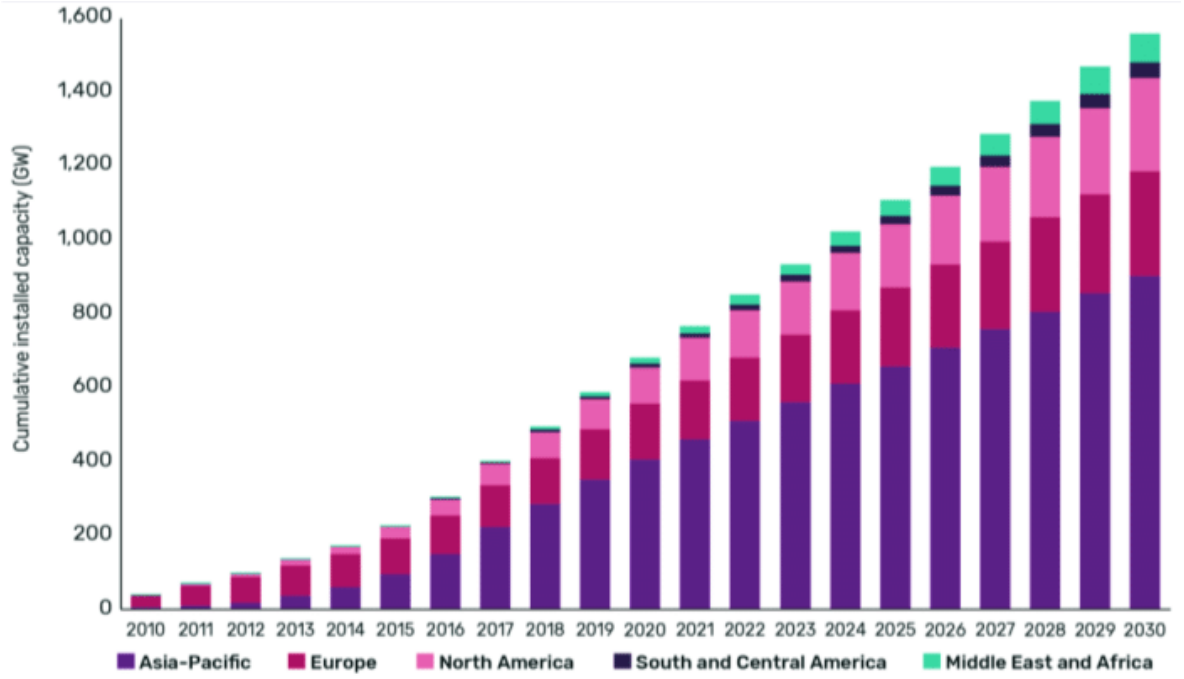
ازداد الإنتاج العالمي للطاقة الكهربائية المولدة من الطاقات المتجددة بكافة أشكالها بشكل تدريجي، كما هو مبين في الشكل (2)، حيث نلاحظ أن إجمالي كمية الطاقة المولدة ازدادت من 4290,2 ألف جيجاوات/ساعة عام 2010 إلى 7077,9 ألف جيجاوات/ساعة عام 2019 بمعدل تغير سنوي بلغ 7,2% [15].



الشكل (2) تطور الطاقة الكهربائية المنتجة من تكنولوجيا الطاقة المتجددة خلال المدة (2010– 2019)

2.2 الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

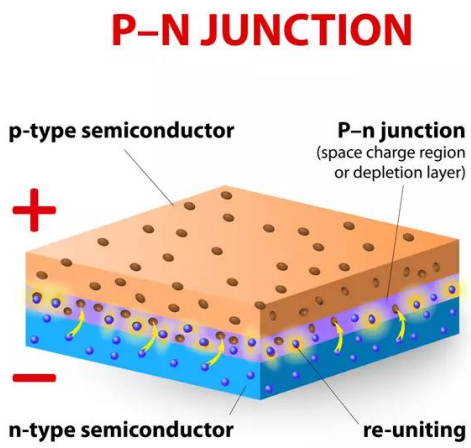
تعد الطاقة الشمسية الكهروضوئية Photovoltaic (PV) واحدة من أكثر الصناعات نمواً في جميع أنحاء العالم [16]. ولقد بدأ النمو السريع لسوق الطاقة الشمسية الكهروضوئية في الثمانينيات بسبب استخدام محطات الطاقة الكهروضوئية متعددة الميجاوات لتوليد الطاقة [17]. وتعد منطقة آسيا والمحيط الهادئ أكبر سوق إقليمي من حيث السعة التراكمية بحصة تبلغ 58,1 ٪ من الطاقة الشمسية الكهروضوئية العالمية في عام 2018، ومن المتوقع أن تظل منطقة آسيا والمحيط الهادي أكبر سوق خلال فترة التوقعات من 2019 إلى 2030 بسبب الزيادة في منشآت السعة، بقيادة دول مثل الصين والهند واليابان [18].



الشكل (3): القدرة التراكمية العالمية للطاقة الشمسية الكهروضوئية حسب المنطقة (2010– 2030)

يمكن تعريف الطاقة الشمسية الكهرضوئية بأنها الكهرباء التي يتم الحصول عليها مباشرةً من تحويل الطاقة الشمسية. حيث يحدث تحويل الإشعاع الشمسي إلى كهرباء بسبب التأثير الكهروضوئي [19]. ويحدث التأثير الكهروضوئي في المواد التي تعرف باسم أشباه الموصلات.

إن أشباه الموصلات الأكثر شيوعًا هي السيليكون، وهي ثاني أكثر العناصر وفرة على وجه الأرض. يجب أن تكون أشباه الموصلات قادرة على امتصاص جزء كبير من الطيف الشمس، وتشتمل جميع الأجهزة الكهروضوئية تقريبًا على تقاطع PN في أشباه الموصلات. تُعرف هذه الأجهزة أيضاً بالخلايا الشمسية أو الخلايا الكهروضوئية. حيث يكون جزء استقبال الضوء هو المادة من النوع N، وفي الجزء الموجود أسفل هذه المادة يوجد مادة من النوع P [20].



الشكل (4): تقاطع PN في الخلية الشمسية

مقارنة بمصادر توليد الطاقة التقليدية مثل تلك التي تستخدم الوقود الأحفوري، فإن الأنظمة الشمسية الكهروضوئية لا تسبب المشاكل البيئية الخطيرة التي تسببها هذه المصادر أثناء التوليد، مثل تغير المناخ والاحتباس الحراري وتلوث الهواء والأمطار الحمضية وما إلى ذلك. هناك ميزة أخرى عند مقارنتها بالوقود الأحفوري وهي أن الطاقة الشمسية لا تحتاج إلى الاستخراج، أو التكرير، أو النقل إلى موقع التوليد.

من ميزات الطاقة الشمسية الكهروضوئية بالمقارنة مع المصادر المتجددة الأخرى أنها تسبب معدل حدوث أقل للأضرار التي تلحق بالبيئة في مكان توليدها، وهو ما لا يحدث مع الطاقة التي تنتجها محطات الطاقة الكهرومائية، حيث يتم بناء محطات الطاقة الكهرومائية على مجرى النهر وتسبب تغير مساره إضافةً إلى غمر المياه لمساحات شاسعة من الغابات والأراضي الزراعية. يوجد عامل مهم آخر هو تكلفة التشغيل التي تعتبر عالية لتوليد الطاقة الهيدروليكية مقارنة بتكلفة تشغيل محطة الطاقة الشمسية. إضافة لذلك، تعد الطاقة الشمسية وفيرة على الرغم من تناقص التوليد خلال الأيام الملبدة بالغيوم، في حين أن حجم المياه في السدود خلال فترات الجفاف يكون محدوداً.

عند مقارنة الطاقة الشمسية مع طاقة الرياح، فإن الطاقة الشمسية الكهروضوئية صامتة لا تصدر ضجيج، ويمكن توليدها في المناطق الحضرية حيث يمكن تركيب الألواح على الأسطح. نظراً لأن التأثيرات البيئية للأنظمة الكهروضوئية ضئيلة، فإنها تلغي الحاجة إلى الدراسات الأولية التي تتطلب تقييماً طويل المدى، على عكس الأنظمة شديدة التلوث [21]. ومن إيجابيات الأنظمة الشمسية

الكهروضوئية أيضاً أنها لا تصدر ضوضاء، وتتطلب صيانة بشكل قليل. وتتمتع هذه الأنظمة بعمر طويل يصل إلى حوالي 30 عاماً، وتضم مجموعة واسعة من التطبيقات، من تشغيل مروحة صغيرة أو آلة حاسبة إلى تشغيل منزل أو مبنى إداري أو حتى محطات توليد كبيرة [22].

إن استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية يسبب انخفاض في فواتير الكهرباء، وقد يكون هذا الانخفاض أكبر من المتوقع في بعض الأحيان عندما تكون المدخرات الفعلية في الطاقة الكهربائية أعلى من المتوقع، ويعود ذلك لعدة أسباب:

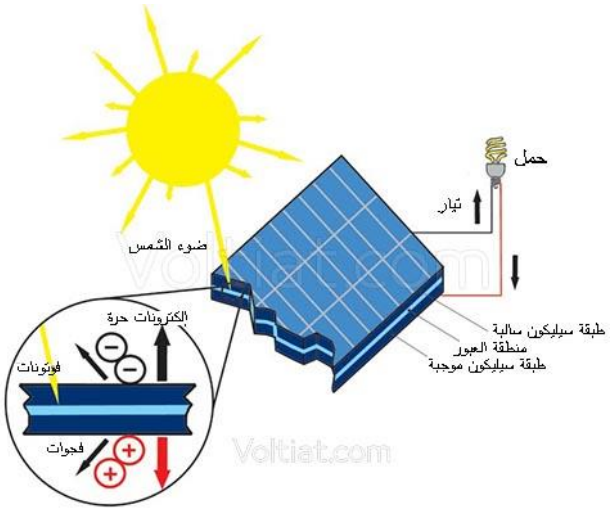
1- ضمانات الإنتاج التي يقدمها القائمون بالتركيب.
2- تغييرات خارجية مواتية خارجة عن السيطرة (على سبيل المثال معدل الكهرباء والهيكل، والطقس).
3- التغييرات المواتية في سلوك الأسرة وعاداتها (على سبيل المثال، التغييرات في توقيت الاستخدام، والاستخدام اليقظ للطاقة) [23].

من سلبيات الطاقة الشمسية الكهروضوئية، أن جميع الأنظمة الشمسية الكهروضوئية تتطلب كمية كبيرة من الطاقة وتصدر بعض الغازات الدفيئة في بعض المراحل (عملية تصنيع الخلايا الشمسية، وتجميع الوحدات الكهروضوئية، ونقل المواد) [24]. إن التكلفة الأولية لهذه الأنظمة مرتفعة ويرجع ذلك أيضاً إلى التكلفة العالية للتكنولوجيا وتعقيد صنع الألواح الشمسية. إضافة لذلك، تحتاج هذه الأنظمة إلى مساحات تركيب كبيرة نسبياً وتتأثر بالظروف الجغرافية، كما أنها تعتمد بشكل كبير على التكنولوجيا [21].

2.3 طريقة عمل الخلية الشمسية:

عند تعرض الخلية الشمسية للإشعاع الشمسي، فإن الإلكترونات الحرة تمتص الفوتونات المكونة للإشعاع الشمسي، أي أن الطاقة المنبعثة من الشمس تصطدم بسطح الخلية على شكل فوتون. وإذا كانت طاقة الفوتون كافية فإنها تعمل على تحفيز الالكترونات في الخلية الشمسية مما يولد جهداً كافياً لدفع هذه الالكترونات في دوائر الحمل، أي أنه عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء خلال سطح الخلية ويمتص جزء بواسطة الطبقة الأولى للخلية وهي طبقة السيليكون المحتوية على

الفوسفور أي النوع N. أما غالبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك أي طبقة السيليكون المحتوية على البورون أي النوع P. خلال هذه العملية تتكون الكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل المتصل في أطراف الخلية. بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية تزداد حركة الإلكترونات، وبالتالي يتشكل تيار كهربائي مستمر (DC) وعند توصيل حمل كهربائي بين طرفي الخلية الشمسية يتم الاستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من سقوط ضوء الشمس على الخلية [25]، ويبين الشكل (5) مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية.



الشكل (5): مبدأ عمل الخلية الشمسية

2.4 تطبيقات الخلايا الشمسية الكهروضوئية:

هناك العديد من التطبيقات للخلايا الشمسية الكهروضوئية ومنها:

- المحطات الشمسية الكهروضوئية المثبتة على الأرض.
- مصفوفات شمسية كهروضوئية مناسبة للزراعة تحتها.
- تحويل زجاج المباني إلى ألواح شمسية كهروضوئية
- التبريد المسبق باستخدام المصفوفات الشمسية الكهروضوئية المثبتة على السطح.

ويركز هذا البحث على دراسة التبريد المسبق باستخدام المصفوفات الشمسية الكهروضوئية المثبتة على سطح مبنى.

2.4.1 المحطات الشمسية الكهروضوئية المثبتة على الأرض:

الأنظمة الكهروضوئية المثبّتة على الأرض عموماً، هي محطات طاقة شمسية كبيرة الحجم، تكون الألواح الكهروضوئية التي يتم تثبيتها على هياكل معدنية مرفوعة عن الأرض ذات أبعاد مناسبة ومثبتة من خلال أعمدة فولاذية [26].

إن الوحدات الكهروضوئية المائلة تسبب تظليلاً متبادلاً بين المصفوفات المتوازية، مما يقلل من كفاءتها. تساعد المسافة البينية الأكبر على تعزيز كفاءة الوحدات الكهروضوئية المتوازية، لكن هذه المسافة البينية الأوسع تتطلب مساحة أكبر من الأرض في حالة المحطات الكهروضوئية المركبة على الأرض، والمسافة المثلى تكون 1.5 متر [27].

تعد محطة Perovo المبينة في الشكل (6) واحدة من أكبر محطات الطاقة الشمسية الضوئية في العالم، بقدرة 100 ميجاوات، وتوجد في منطقة شبه جزيرة القرم في أوكرانيا. بنيت هذه المحطة في 7 أشهر فقط، وفي عام 2012 كانت رابع أكبر مزرعة للطاقة الشمسية في العالم [28].

الشكل (6): محطة Perovo الشمسية الضوئية

2.4.2 مصفوفات شمسية كهروضوئية مناسبة للزراعة تحتها:

تجمع هذه التقنية بين الألواح الشمسية الكهروضوئية والمحاصيل الزراعية على نفس وحدة الأرض وفي نفس الوقت. توضع الألواح الكهروضوئية على ارتفاع يسمح بالزراعة الميكانيكية أدناه، وبذلك تكون طبقة المحصول الموجودة على مستوى الأرض مظللة بشكل جزئي ومتقطع.

تستخدم هذه التقنية في الزراعات المروية، حيث تساعد على استثمار الأراضي الزراعية في الإنتاج الزراعي، إضافةً إلى إنتاج الطاقة الكهربائية. إن استعمال هذه التقنية في الأراضي الزراعية أدى إلى زيادة إنتاجية وفعالية المحاصيل إضافة إلى تحقيق توفير في الماء المستخدم في الري وهذا بسبب التظليل الحاصل وبالتالي تقليل معدل التبخر [29]، ويمكن تطبيقها بطرق وتقنيات مختلفة كما هو مبين في الشكل (7).

الشكل (7): تركيب مصفوفات كهروضوئية للزراعة تحتها في ألمانيا وتشيلي [30]

2.4.3 تحويل زجاج المباني إلى ألواح شمسية كهروضوئية:

إن النافذة الكهروضوئية تعتبر من أنظمة الطاقة الشمسية المتكاملة مع المباني Building Integrated Photovoltaic (BIPV). وهي عبارة عن تكامل للوحدات الكهروضوئية مع النوافذ التقليدية، والتي يمكن أن تحل محل النوافذ التقليدية بالكامل [31].

بالمقارنة مع النوافذ التقليدية، يمكن للنوافذ الكهروضوئية أن تخفف من اختراق الإشعاع الشمسي للغرف، وبالتالي تقليل استهلاك الطاقة لأنظمة تكييف الهواء، وفي الوقت نفسه، قد تخفف النوافذ الكهروضوئية من وهج الضوء الذي يدخل من النوافذ [32] [33].

توفر هذه النوافذ مزايا النوافذ التقليدية إضافةً إلى توليد الكهرباء والعزل الحراري. ويتم تصنيفها إلى نوافذ كهروضوئية ذات زجاج مفرد، ونوافذ كهروضوئية ذات زجاج مزدوج مع / بدون تهوية [34]، كما هي مبينة في الشكل (8).

a PV double-glazing window **b** PV single-glazing window

الشكل (8): نوافذ ذات زجاج مفرد ونوافذ ذات زجاج مزدوج [35]

2.5 التبريد المسبق باستخدام المحطات الشمسية الكهروضوئية المثبتة على السطح:

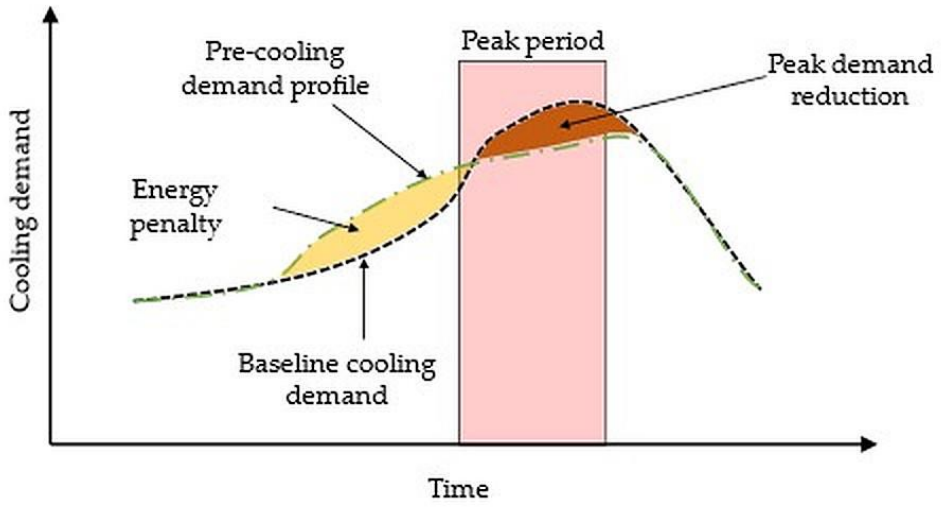
2.5.1 التبريد المسبق:

يعني التبريد المسبق شحن الكتلة الحرارية للمبنى قبل بداية ذروة الطلب عن طريق تقليل درجة حرارة الكتلة الحرارية ثم تفريغ البرودة خلال فترة الذروة. يتم ذلك عادةً عن طريق تقليل نقطة ضبط منظم الحرارة قبل ساعات قليلة من فترة الذروة المتوقعة لإجبار المكيف على التشغيل، وعند زيادة تعرفة الطلب والكهرباء لاحقاً يتم إيقاف تشغيل مكيف الهواء.

ترتفع درجة الحرارة الداخلية ببطء بسبب مكاسب الحرارة الداخلية والخارجية، مما يخلق فرصة لمكيف الهواء لتأخير تشغيله خلال وقت الذروة، حيث يكون استهلاك كهرباء أقل تكلفة [3].

يوضح الشكل (9) مخططاً للمراحل قبل وبعد تنفيذ التبريد المسبق، حيث قبل بداية الذروة يكون الطلب على التبريد المسبق أعلى من الطلب الأساسي، لأن مكيف الهواء يوفر مزيداً من التبريد لتبريد درجة حرارة الكتلة الحرارية. يتم تفريغ التبريد المخزن خلال ساعات الذروة، مما يؤدي في النهاية إلى

تقليل الطلب على التبريد في وقت الذروة. ونظراً للتفاوت بين معدلات تعرفة الكهرباء في أوقات الذروة وخارج أوقات الذروة، تنخفض تكلفة الكهرباء على الرغم من أنه قد يزيد إجمالي استهلاك الطاقة [36].



الشكل (9): توضيح تخطيطي لتحويل الحمل عن طريق التبريد المسبق [36]

يمكن أن يتم التبريد المسبق بالاعتماد على محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية المثبتة على الأسطح، وذلك من خلال امتصاص الطاقة الشمسية وتشغيل مكيف الهواء لتبريد المبنى مسبقاً. بعد ذلك يكون هناك طلب أقل على التبريد خلال ساعات الذروة نتيجة تبريد المبنى مسبقاً.

ولاستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في التبريد المسبق عدة محددات، منها [36]:

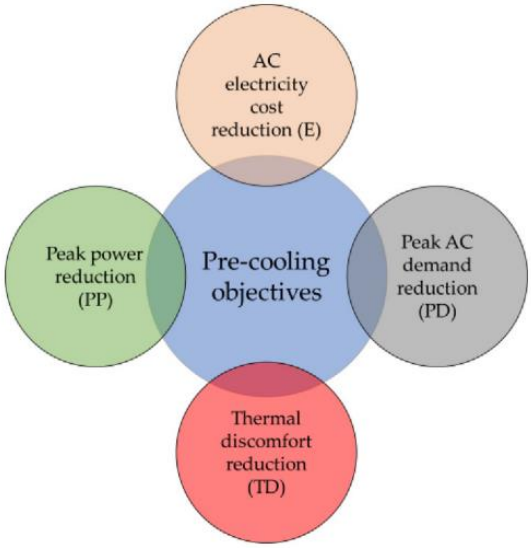
- كفاءة استخدام الطاقة في المبنى.
- المواد المستعملة في البناء.
- سعة مكيفات الهواء المستخدمة.
- سعة المنظومة الكهروضوئية المستخدمة.
- أنماط وأوقات الاستهلاك

2.5.2 أهداف التبريد المسبق:

يمكن تنفيذ التبريد المسبق لتحقيق أربعة أهداف رئيسية:

1. خفض تكلفة الكهرباء اللازمة لتكييف الهواء.
2. الحد من الطلب على تكييف الهواء في وقت ذروة الطلب، وتعرف ذروة الطلب بأنها كمية الكهرباء المستخدمة خلال ساعات الذروة عندما تكون تعرفة الكهرباء باهظة الثمن.
3. تخفيض الطلب على طاقة تكييف الهواء القصوى، وتعرف طاقة تكييف الهواء القصوى بأنها الطاقة القصوى لتكييف الهواء خلال ساعات الذروة.
4. تقليل الانزعاج الحراري، ويعرف الانزعاج الحراري بأنه انحراف لدرجة الحرارة الداخلية عن نطاق الراحة الحراري.

يمكن تنفيذ التبريد المسبق لتحقيق هدف واحد أو مجموعة من هذه الأهداف المبينة في الشكل (10).



الشكل (10): أهداف التبريد المسبق

2.6 محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية المثبتة على الأسطح:

محطة الطاقة الكهروضوئية المثبتة على السطح، أو الأنظمة الكهروضوئية المثبتة على السطح، هي عبارة عن نظام كهروضوئي يحتوي على ألواح شمسية منتجة للكهرباء مثبتة على سطح مبنى. تشمل المكونات المختلفة لهذا النظام الألواح الكهروضوئية وأنظمة التثبيت والكابلات ومحولات الطاقة

الشمسية وغيرها من الملحقات الكهربائية. تعد الأنظمة المثبتة على الأسطح صغيرة مقارنة بمحطات الطاقة الكهروضوئية المثبتة على الأرض بسعات في نطاق ميجاواط (MW) [37].

تعد عمليات نشر الطاقة الشمسية على الأسطح مصدراً ممتازاً لتوليد الطاقة النظيفة. نتيجة لذلك، نمت شعبيتها بين أصحاب المنازل بشكل كبير على مر السنين. لكن الوحدات الكهروضوئية المائلة تسبب تظليلاً متبادلاً بين المصفوفات المتوازية مما يقلل من كفاءتها. تساعد المسافة البينية الأكبر على تعزيز كفاءة الوحدات الكهروضوئية المتوازية، ولكن عندها يتعرض المزيد من سطح السقف لأشعة الشمس، لذلك تم تحديد المسافة البينية المحسنة للتكوينات الكهروضوئية بهدف تقليل التكلفة المستوية للطاقة levelized cost of energy (LCoE) وزيادة إنتاجية الطاقة لتكون المسافة المثلى في حالة النظام الكهروضوئي على السطح 2.5 متر.

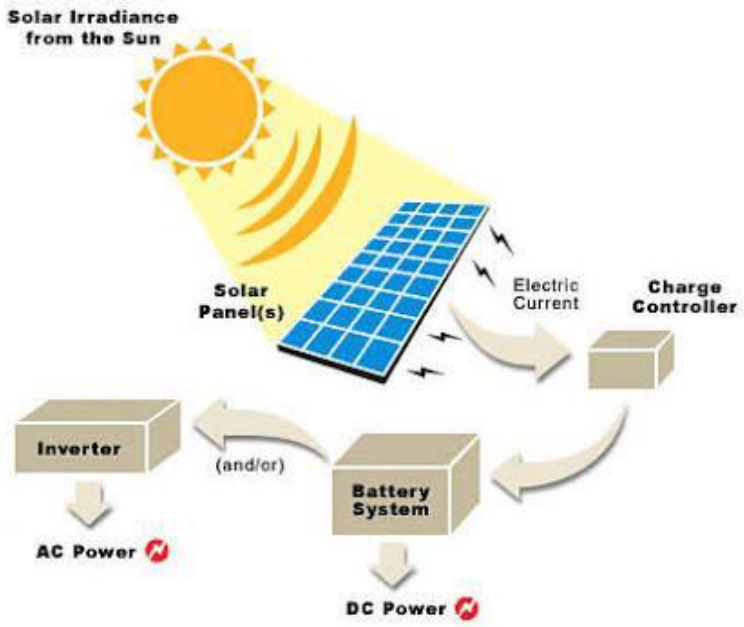
إن تثبيت أنظمة المحطات الكهروضوئية على السطح له العديد من المزايا المميزة، حيث تؤمن هذه الأنظمة تظليل جزئي للسقف مما يؤدي إلى تقليص متطلبات طاقة التبريد للمباني في المناطق الساخنة، بينما لا يتمتع النظام الكهروضوئي المثبت على الأرض بهذه الميزة. لذلك، فإن صافي الطاقة من الأنظمة الكهروضوئية على السطح أعلى من صافي الطاقة للأنظمة الكهروضوئية المثبتة على الأرض.

فترة الاسترداد للنظام الكهروضوئي هي المدة الزمنية بالسنوات اللازمة لاسترداد الاستثمار الأولي في النظام في شكل وفورات في فواتير الكهرباء أو عن طريق بيع الكهرباء إلى الشبكة. وتعد فترة الاسترداد للنظام المثبت على السطح أقصر من فترة الاسترداد للنظام الكهروضوئي المثبت على الأرض، لأن النظام الكهروضوئي المثبت على الأرض يتضمن تكلفة الأرض أيضاً. يتم حساب فترة الاسترداد الصافية لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية المثبتة على السطح عن طريق إضافة ميزة تظليل السطح. وبالتالي تعد الألواح الكهروضوئية المثبتة على السطح أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية نظراً لميزة التظليل وحقيقة عدم الحاجة إلى أرض [27].

2.7 مكونات النظام الشمسي الكهروضوئي المثبت على السطح:

تتألف المنظومة الشمسية الكهروضوئية المثبتة على السطح من المكونات المبينة في الشكل (11)، وأهمها:

1. الألواح الكهروضوئية (Solar Panels).
2. منظمات الشحن (Controllers).
3. البطاريات (Batteries).
4. العواكس (Inverters).



الشكل (11): مكونات النظام الشمسي

2.7.1 الألواح الكهروضوئية:

تعتبر الخلية الشمسية المصنعة من مواد شبه موصلة كالسليكون المكون الأساسي في اللوح الشمسي، حيث يتم توصيل العديد من الخلايا الشمسية بخطوط توصيل معدنية لتشكل مصفوفة من الخلايا تعرف باللوح الشمسي.

2.7.1.1 مكونات الألواح الكهروضوئية:

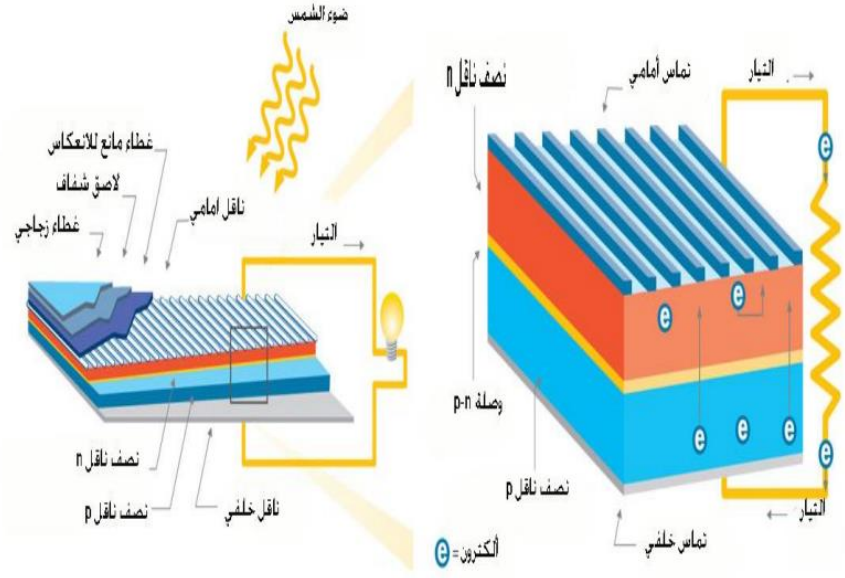
تتكون الألواح الشمسية من عدة طبقات، كما هو مبين في الشكل (12):

طبقتان حساستان للضوء: عبارة عن أشباه موصلات مثل عنصر السليكون المضاف إليه بعض الشوائب لتكوين طبقتين مختلفتين وهما طبقة شبه الموصل السالبة N وطبقة شبه الموصل الموجبة p.

طبقتان من الأسلاك: تحتوي الخلية الشمسية على طبقتين مكونتين من شبكة من الأسلاك النحاسية إحداهما في الأعلى (الغلاف الأمامي) والأخرى في الأسفل (الغلاف الخلفي).

طبقة من الزجاج: تغطى الخلايا الشمسية بطبقة من الزجاج لحمايتها من أي خدش، كما أنها تسمح بمرور الضوء من خلالها.

طبقة مضادة للانعكاس: لتسمح للضوء بالارتداد، وبالتالي يمكن استغلال أكبر قدر من الضوء [38].



الشكل (12): مكونات اللوح الشمسي

2.7.1.2 أنواع الألواح الكهروضوئية:

يوجد بشكل رئيسي ثلاثة أنواع من الألواح الكهروضوئية وهي:

- **الألواح الأحادية Monocrystalline (Mono-Si):** في هذه الألواح تكون الخلية الكهروضوئية مصنوعة من بلورات أحادية من السيليكون، والتي تصنف ضمن الجيل الأول للخلايا الشمسية. أثناء عملية التصنيع، يتم تقطيع بلورات السيليكون Si من الأحجام الكبيرة.

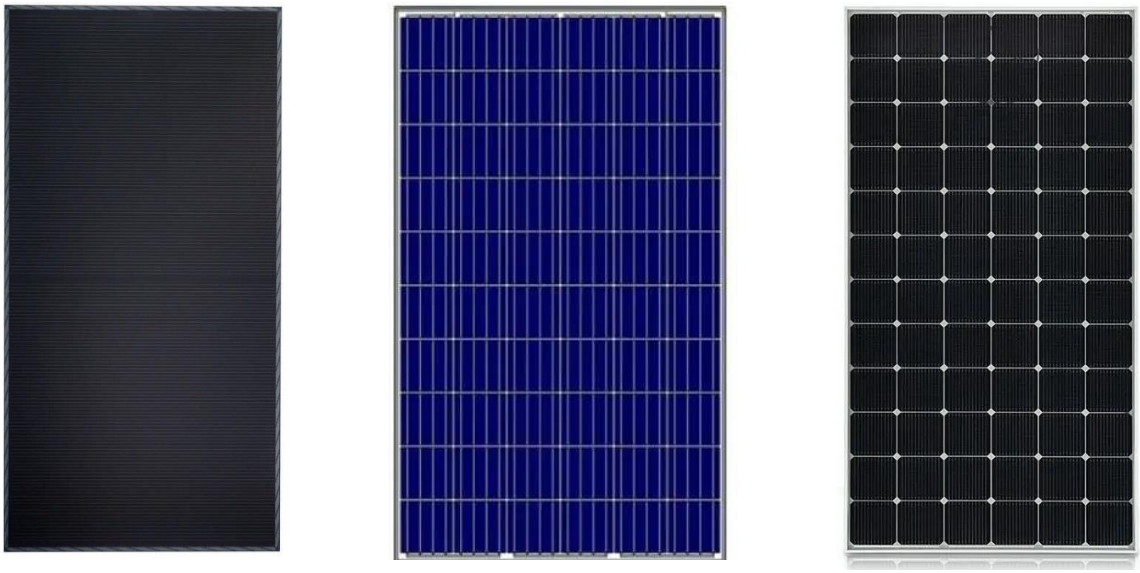
يتطلب إنتاج هذه البلورات المفردة الكبيرة عملية دقيقة لأن عملية "إعادة التبلور" للخلية تكون أكثر تكلفة وتتطلب عمليات متعددة. تعرف الألواح الشمسية أحادية البلورة بكفاءة عالية وفعالية في استخدام المساحة وطول العمر وتتميز بأنها تعمل بقدرة أكبر في الأماكن التي تكون باردة، ولكن هذه التكنولوجيا هي الأغلى ثمناً [39] [40] [41]، ويبين الشكل (13، a) الألواح الأحادية البلورة.

- **الألواح متعددة البلورات Polycrystalline (Poly-Si):** تتكون الخلايا في هذه الألواح من عدد من البلورات المختلفة مجتمعة مع بعضها البعض في خلية واحدة، وتصنف ضمن خلايا الجيل الأول للخلايا الشمسية. تعد معالجة الخلايا الكهروضوئية متعددة البلورات أكثر اقتصاداً، كما تعد الخلايا متعددة البلورات حالياً أكثر الخلايا الكهروضوئية شيوعاً. وكانت هذه الخلايا الكهروضوئية هي الخلايا الكهروضوئية الأكثر استخداماً حيث كانت تمثل 48 ٪ من إنتاج الخلايا الكهروضوئية في جميع أنحاء العالم خلال عام 2008.

تلعب الخلايا الكهروضوئية متعددة البلورات دوراً مهيمناً في الخلايا الكهروضوئية القائمة على السيليكون، نظراً لمزاياها مثل عملية التحضير البسيطة نسبياً والتكلفة المنخفضة نسبياً [39]. تعد هذه الخلايا أكثر أنواع الخلايا الشمسية شيوعاً في سوق الخلايا الكهروضوئية سريع النمو وتستهلك معظم السيليكون المتعدد البلورات المنتج في جميع أنحاء العالم. يلزم حوالي 5 أطنان من السيليكون متعدد البلورات لتصنيع 1 ميجاواط (MW) من الوحدات الشمسية التقليدية [42]. تتميز ألواح السيليكون متعدد البلورات بأنها تعمل بقدرة أكبر في الأماكن التي تكون فيها الحرارة مرتفعة، لذلك يتم اعتماد هذا النوع في بلداننا العربية [41]، ويبين الشكل (13، b) الألواح المتعددة البلورات.

- **الألواح ذات الأغشية الرقيقة Thin film (TF):** تعد تقنيات الأغشية الرقيقة الشمسية القائمة على السيليكون غير المتبلور موضوعاً بحثياً رئيسياً الآن [40]. تصنف خلايا السيليكون غير المتبلورة ضمن خلايا الجيل الثاني وتتميز هذه الخلايا بشكل عام بكفاءة منخفضة ولكنها

واحدة من أكثر التقنيات الكهروضوئية الصديقة للبيئة لأنها لا تستخدم أي معادن ثقيلة سامة مثل الكادميوم أو الرصاص [42]. على الرغم من أن كفاءتها ليست جيدة مثل تقنية السيليكون أحادي البلورية ومتعددة البلورات، إلا أن إنتاجها الضخم يعد بسيطاً، ولدرجات الحرارة العالية والتظليل تأثير أقل على أدائها [40]، ويبين الشكل (13، c) الألواح ذات الأغشية الرقيقة.



c.Thin Film **b.Polycrystalline** **a.Monocrystalline**

الشكل (13): أنواع الألواح الكهروضوئية

2.7.1.3 مقارنة بين تقنية الألواح الشمسية ذات أنصاف الخلايا والألواح الشمسية ذات الخلايا الكاملة:

تعد تقنية الألواح الشمسية ذات أنصاف الخلايا تعديلاً على الألواح التجارية الموجودة، وتهدف هذه التقنية إلى التغلب على مشكلات هذه الألواح، وبالتالي جعلها أفضل. يتم في هذه التقنية تقطيع الخلية الشمسية إلى جزأين عن طريق القطع بالليزر، من أجل تقليل فقد الطاقة الإجمالية وتوفير كفاءة أفضل.

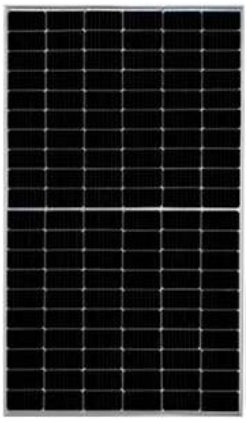
إن عدد الخلايا الموجودة في الألواح الشمسية ذات أنصاف الخلايا تكون ضعف عدد الخلايا الموجودة في الألواح ذات الخلايا الكاملة، ولكن التيار الذي يحمله كل قضيب ناقل في كل خلية يقل بمقدار

النصف، مقارنة بالخلايا الشمسية القياسية، وبالتالي يتم التحكم في فقد الطاقة في الوحدة إلى حد كبير. كما تنخفض المقاومة بشكل كبير في هذه الألواح مقارنة بالألواح ذات الخلايا القياسية. وبالتالي على الرغم من أن الألواح ذات أنصاف الخلايا تتطلب ضعف عدد الخلايا في تكوين اللوح، إلا أنها قادرة على توفير نفس المقدار من التيار مثل الخلية القياسية، ولكن مع مقاومة أقل، لذلك يتم تقليل فقد الطاقة إلى الحد الأدنى.

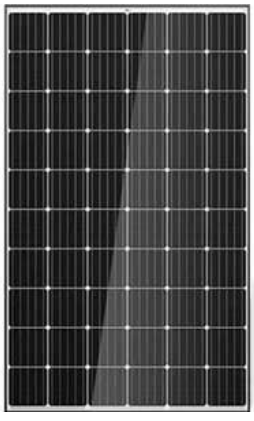
إن الفقدان الناتج عن التظليل لا يكاد يذكر في الخلايا نصف المقطوعة بسبب الاختلاف في التيار بين النصفين. إذا كان أحد النصفين مظللاً، فستتأثر تلك المنطقة لكن النصف الآخر من الخلية سيبقى قيد التشغيل. .لذلك تفضل الخلايا نصف المقطوعة على الخلايا القياسية لتقليل فقد التظليل.

يكون ارتفاع درجة الحرارة في حال وجود بقعة ساخنة أقل نسبياً في حالة الألواح ذات أنصاف الخلايا، وبالتالي تقليل التدهور الناتج في مثل هذه الحالة. ونظراً لأن السلاسل تكون موصولة على التوازي في الألواح ذات أنصاف الخلايا، يمكن للوحدة توفير ما يصل إلى 50٪ من الطاقة في حالة التظليل الجزئي.

إن كفاءة الألواح الشمسية ذات أنصاف الخلايا أعلى من كفاءة الألواح ذات الخلايا الكاملة، وذلك نتيجة خفض خسائر التوصيلات الخلوية حيث يمكن تقليل الفاقد بنسبة 75%، إضافةً إلى وجود خسائر كهربائية بشكل أقل، مما يعزز من كفاءة هذه الألواح [43]. يبين الشكل (14، a) الألواح ذات أنصاف الخلايا، ويبين الشكل (14، b) الألواح ذات الخلايا الكاملة.



a. لوح أنصاف الخلايا



b. لوح الخلايا الكاملة

الشكل (14): الألواح ذات أنصاف الخلايا وألواح الخلايا الكاملة

2.7.1.4 العوامل البيئية المؤثرة على كفاءة الألواح الشمسية الكهروضوئية:

- الإشعاع الشمسي: تعرف كمية الطاقة القادمة من مصدر شمسي لكل وحدة مساحة بالإشعاع. يتغير الإشعاع عادةً وفقاً للطقس وموقع الشمس في السماء، ويتغير موقع الشمس على مدار اليوم بسبب التغيرات في ارتفاع الشمس، ويتكون الإشعاع الشمسي الذي يصطدم بسطح ما من إشعاعات مباشرة ومنتشرة ومنعكسة. الجزء الأكبر من الإشعاع الشمسي هو الإشعاعات المباشرة، ومع ذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار كل من الإشعاع المنتشر والمنعكس أثناء تحليل تشغيل النظام. يحدث الحد الأقصى للإشعاع الشمسي عندما تكون الوحدات الكهروضوئية متعامدة مع الإشعاع المباشر [44]. تكون العلاقة بين تيار الوحدة والإشعاع الشمسي خطية تقريباً، حيث يزداد تيار الوحدة الكهروضوئية مع زيادة الإشعاع الشمسي [45].
- درجة حرارة الوحدة الكهروضوئية: تقوم الخلية الكهروضوئية بتحويل جزء صغير (أقل من 20٪ تقريباً) من الإشعاع إلى طاقة كهربائية، بينما يتم تحويل الباقي إلى حرارة. يحدث ارتفاع درجة حرارة الوحدة الكهروضوئية بشكل رئيسي بسبب الإشعاع الشمسي المفرط وارتفاع درجات الحرارة المحيطة. إن درجة حرارة الوحدة تؤثر بشكل كبير على سلوك النظام الكهروضوئي لأنها تؤثر بشكل كبير على كفاءة النظام والطاقة، حيث كل 1 درجة مئوية ارتفاع في درجة الحرارة يسبب انخفاض الكفاءة بنحو 0,5٪ للخلايا الكهروضوئية البلورية [46].
- تراكم الغبار: يمكن حجب بعض ضوء الشمس عن الوحدة الكهروضوئية بسبب وجود الأوساخ أو الغبار مما يتسبب في خسائر في الطاقة المولدة نظراً لتناثر الإشعاع الشمسي على سطح الألواح الشمسية. يؤدي تراكم 20 غ/م² من الغبار على اللوحة الكهروضوئية إلى تقليل تيار الدائرة القصيرة بنسبة (15−21)٪، والجهد الكهربائي للدائرة المفتوحة بنسبة (2−6)٪، والكفاءة بنسبة (15− 35)٪ [47].
- التظليل: يحصل انخفاض في الطاقة الناتجة من الألواح الكهروضوئية بسبب تأثير التظليل. لا تؤثر الظلال على التدفق الحالي في الخلايا المظللة فحسب، بل إنها تؤثر أيضاً على التدفق الحالي في اللوحة بأكملها نظراً لأن الخلايا عادةً ما تكون متصلة وسلكية في سلسلة. يمكن أن تكون الظلال ناتجة عن الأعمدة والأشجار والمباني وقد تكون أيضاً ناتجة عن

هياكل تركيب الوحدة على الهياكل الأخرى. كما يمكن أن تتسبب الأوراق والطيور وفضلات الطيور التي قد تسقط مباشرة على الوحدات في التظليل. حيث بينت إحدى الدراسات أن فقدان الأداء يكون 70٪ عندما يكون 2٪ فقط من مساحة الوحدة مظللة [48]. وبينت دراسة أخرى أنه إذا كان 5-10٪ من المصفوفة مظللة، فيمكن تقليل خرج الطاقة بأكثر من 80٪ [49]، ولقد لوحظ فقدان طاقة مختلف لنفس القدر من التظليل من خلال تغيير خصائص الخلية المظللة فقط [50]، وبالتالي فإن تحديد الخسائر بسبب التظليل يعتمد على النسبة المئوية للخلايا المظللة بالإضافة إلى مادة الخلية والاتصال بين الألواح. وتعتمد الظلال الموجودة على اللوحة على ارتفاع المباني المجاورة ووجود الأشجار أو التظليل من قبل الألواح الأخرى.

2.7.2 منظمات الشحن:

إن الطاقة المنتجة من الألواح الشمسية تختلف باختلاف ضوء الشمس الساقط. خلال النهار تزداد الطاقة من الألواح الشمسية إلى مستوى الذروة وتنخفض إلى الصفر من الصباح حتى المساء، ويتطلب هذا الاختلاف منظم يتحكم في شحن البطارية. إن الهدف الرئيسي من أجهزة التحكم في النظام الشمسي الكهروضوئي هو التحكم في تدفق طاقة التيار المستمر حسب الحاجة إلى البطارية كما أنها تعمل على ضمان عدم رجوع التيار الكهربائي إلى الخلية الشمسية، لأنه في حال فصل الحمل وعدم وجود المنظم، فإنه يمكن اعتبار الخلايا الشمسية حمل يعمل على سحب التيار من البطارية إلى الخلايا بشكل عكسي مرة أخرى مما يؤدي إلى إتلاف الخلايا [51]. كما يقوم المنظم الشمسي بحماية الخلية الشمسية من التلف فهو يحتوي على قاطع داخلي يقوم بحماية الخلية الشمسية في حالة تلامس أطرافها معاً، حيث يقوم بالفصل ومنع الضرر الكبير من الحدوث على الخلايا الشمسية.

2.7.2.1 أنواع منظمات الشحن:

هناك أنواع مختلفة من منظمات الشحن في الأنظمة الشمسية الكهروضوئية والأجهزة الحديثة تعمل إما بتقنية تعديل عرض النبضة PWM (Pulse Width Modulation)، أو تقنية تتبع نقطة الاستطاعة العظمى MPPT (Maximum Power Point Tracking).

- **تعديل عرض النبضة PWM:**

تستخدم وحدات التحكم في الشحن PWM لتقليل كمية الطاقة المطبقة على البطاريات عندما تكون البطاريات مشحونة بالكامل تقريباً، وتتيح هذه الوحدات شحن البطارية بالكامل مع تقليل الضغط على البطارية لإطالة عمر البطارية، حيث يقوم هذا المنظم بإرسال التيار الكهربائي إلى البطارية على شكل نبضات كهربائية تسمى (pulse) ويقوم بتعديل عرض هذه النبضات وفقاً لقيمة التيار الكهربائي المرسل إلى البطارية. تعمل وحدة التحكم PWM على مفهوم أنه عندما تنتج الخلايا الشمسية جهداً، يتم الإشارة إلى هذا الجهد بواسطة مؤشر الجهد، وبعد هذا القياس يتم التحكم في الجهد، وباستخدام هذا الجهد يتم شحن بطاريات الألواح الشمسية [52]. إن وحدات التحكم هذه غير مكلفة وتطيل عمر البطاريات وتستخدم في الأنظمة الصغيرة ولكن هذا النوع أقل كفاءة من MPPT [53].

- **تتبع نقطة الاستطاعة العظمى MPPT:**

نوع آخر من أجهزة التحكم بالشحن التي تعمل بكفاءة عالية هو جهاز التحكم بالشحن MPPT. سمي هذا المنظم بهذا الاسم اختصاراً من العبارة الإنجليزية Maximum Power Point Tracking (MPPT)، التي تشير إلى طريقة عمل هذا النوع من المنظمات (تتبع نقطة الطاقة القصوى). وهو منظم شحن مستخدم في تنظيم الجهد الوارد من الخلايا الشمسية، يتم استخدامه لزيادة كفاءة الألواح الشمسية. باستخدام MPPT سيبدأ النظام في العمل عند نقطة الطاقة القصوى Maximum Power Point (MPP) وينتج أقصى خرج للطاقة عن طريق اكتشاف الحد الأقصى للإشعاع الشمسي الذي يسقط على الوحدة الكهروضوئية، وبالتالي فإنه ينتج التكلفة الإجمالية للنظام [53].

هذه المنظمات هي محولات تيار كهربائي (DC-DC) تقوم بتمرير الكهرباء على شكل نبضات من الخلايا الشمسية إلى البطارية بأفضل جهد كهربائي يمكن شحن البطارية من خلاله، وتعتمد في عملها على مبدأ استخلاص الطاقة القصوى المنتجة من الخلايا الشمسية عن طريق تغير فرق الجهد (الفولطية) بحيث تعطي أكبر استطاعة خرج لها.

يتم أخذ خرج الألواح الشمسية بأقصى طاقته إما عن طريق زيادة الجهد وتقليل التيار أو عن طريق زيادة التيار عن طريق خفض الجهد، وتتغير الطاقة القصوى مع تغير الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة المحيطة ودرجة حرارة الخلايا الشمسية.

يوفر هذا النوع من المنظمات القدرة على الحصول على مجموعة ذات جهد دخل أعلى من بنك البطارية. تعمل وحدة التحكم بالشحن الشمسي MPPT مثل محول DC-DC الذي يحول الطاقة من

جهد أعلى إلى مستوى جهد أقل. إذا كان جهد الخرج أقل من جهد الدخل، فسيكون تيار الخرج أعلى من تيار الإدخال وبالتالي تبقى الاستطاعة ثابتة (P = V * I).

تمتاز وحدة التحكم MPPT بأن كفاءتها تزيد 30٪ عن النوع PWM أي باستخدام MPPT نحصل على إنتاج أكثر بنسبة 30 ٪ من نظام الطاقة الشمسية. كما أنها تعد أفضل أنواع منظمات الطاقة الشمسية للأنظمة الكبيرة والموجودة في البيئات الأكثر برودة والغائمة. تعمل هذه المنظمات بشكل أفضل عندما تكون البطارية في حالة شحن منخفضة. ومن سلبيات وحدات التحكم هذه أنها أكبر في الحجم المادي كما أن ثمنها أغلى من وحدات PWM وعمرها أقصر [51] [52].

2.7.3 البطاريات:

وهي الوحدة المسؤولة عن تخزين الطاقة وتفريغها لاستخدامها في تشغيل الأجهزة الكهربائية. هناك العديد من أنواع البطاريات ولكن غالبية البطاريات المستخدمة مع الأنظمة الشمسية تكون من النوعية ذات الحمض والألواح الرصاصية Lead-Acid وهناك نوعين أساسيين من هذه البطاريات:

- بطارية الرصاص المغمورة FLA – Flooded Lead Acid: هذا النوع من البطاريات هو الأكثر استخداماً لأنظمة الطاقة الشمسية. يتم غمر الأقطاب الكهربائية بشكل كامل في سائل قابل للتأين الكهربائي، ومن إصدارات البطاريات المغمورة النوع الأنبوبي الذي تكون فيه ألواح الرصاص اسطوانية الشكل، والنوع المسطح الذي تكون فيه ألواح الرصاص على شكل شرائح متراصة. هذا النوع يستلزم إضافة الماء بشكل دوري إلى البطارية.
- بطاريات الرصاص الغير مغمورة VRLA – Valve Regulated Lead Acid: تواجه هذه البطاريات مشاكل أقل مقارنة بالبطاريات المغمورة. أثناء عملية الشحن، يتم إنتاج غازات الهيدروجين والأكسجين من الماء بسبب التفاعلات الكيميائية في الصفائح السالبة والموجبة. تتحد هذه الغازات لتكوين الماء، وبالتالي يتم التخلص من الحاجة إلى إضافات المياه. يتميز هذه النوع من البطاريات بسهولة النقل ومتطلبات الصيانة القليلة التي يحتاجها وهذا يجعله مناسب للتطبيقات البعيدة إضافةً إلى أنه لا يحتاج لإضافة المياه [54].

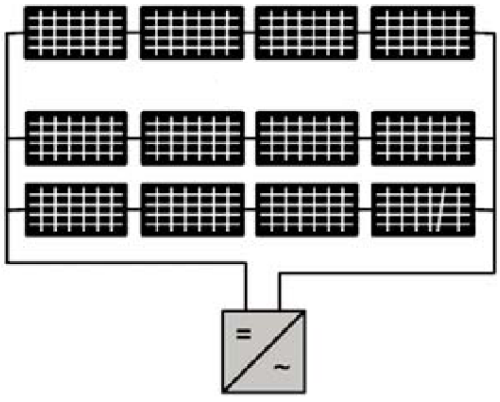
2.7.4 العواكس:

إن تيار الكهرباء الناتج عن الخلايا الشمسية هو تيار مستمر وهو ليس ثابتاً بمرور الوقت. ونظراً لأن حجم الطاقة المتولدة من خلال الأنظمة الكهروضوئية يتغير كثيراً، فمن الصعب الاستخدام المباشر للطاقة التي يتم الحصول عليها من الوحدات الكهروضوئية ومن المهم للغاية تحويل طاقة التيار المستمر غير المتكافئة إلى تيار مستمر أو تيار متردد مستقر. يعد العاكس مسؤولاً عن الإخراج المنتظم للطاقة من الوحدات الكهروضوئية، وتعتبر كفاءة العاكس جيدة عندما لا يكون هناك فرق كبير بين طاقة الإدخال وقوة الإخراج. ومع ذلك إن فقدان الطاقة أمر لا مفر منه ولا يمكن لأي محول تحقيق كفاءة بنسبة 100٪ في حالة التحويل من التيار المستمر إلى التيار المتردد. هذا يعني أن طاقة الخرج (AC) ليست عالية مثل طاقة الإدخال (DC). تتراوح كفاءة العاكس بشكل عام من 95 إلى 98٪. وقد تختلف الكفاءة اعتماداً على طاقة دخل التيار المستمر والجهد [55].

2.7.4.1 أنواع العاكس:

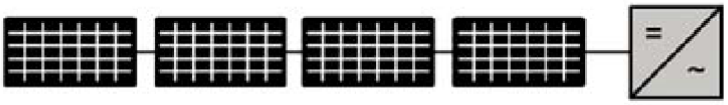
تتوفر أنواع مختلفة من العاكس الكهروضوئي المستخدم في أنظمة الطاقة الشمسية وهي كالتالي:

- العاكس المركزي Central inverter: يستخدم في أنظمة تحويل الطاقة الكهروضوئية واسعة النطاق، يتم استخدام محولات مركزية تتراوح من بضع مئات من الكيلو واط إلى بضعة ميجا واط، ويبين الشكل (15) طريقة توصيل هذا النوع من العواكس.



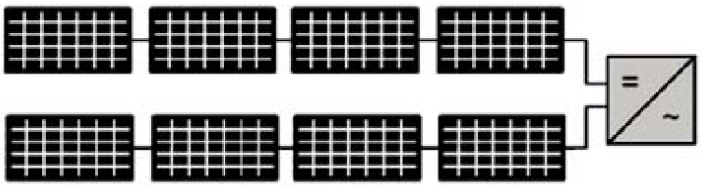
الشكل (15): طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بالعاكس المركزي

- عاكس السلسلة String inverter: يتم توصيل سلسلة من الوحدات الكهروضوئية مع العاكس. يتراوح نطاق الجهد لهذه السلسلة الكهروضوئية بين 150 و450 فولت، ويبين الشكل (16) طريقة توصيل هذا النوع من العواكس.



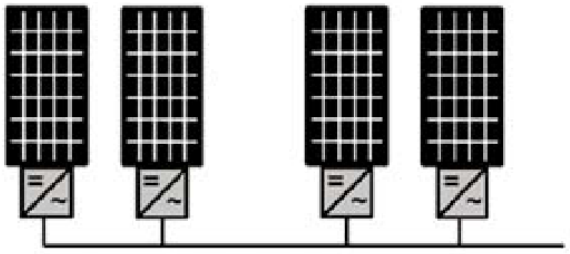
الشكل (16): طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بعاكس السلسلة

- العاكس متعدد السلاسل Multi string inverter: يتميز نظام العاكس متعدد السلاسل بمزايا كل من العاكس السلسلي والعاكس المركزي [56]، ويبين الشكل (17) طريقة توصيل هذا النوع من العواكس.



الشكل (17): طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بالعاكس متعدد السلاسل

- العاكس الصغير Micro inverter: وهو عاكس صغير الحجم مصمم لوحدة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الفردية بدلاً من مجموعة الوحدات الكهروضوئية الشمسية. ويتميز هذا النوع بأنه يؤمن استقلال الوحدة الكهروضوئية وتقليل تأثير خسائر التظليل، وتدهور الوحدة، وخسائر التلويث، لأنه يحمي الألواح بشكل كامل من أن تؤثر على بعضها البعض في حال وجود تظليل أو عطل في أحد الألواح [57]، ويبين الشكل (18) طريقة توصيل هذا النوع من العواكس.



الشكل (18): طريقة توصيل المحطة الشمسية الكهروضوئية بالعاكس الصغير

3. الفصل الثالث: القسم العملي

Chapter (3): Practical section

ملخص الفصل:

يستعرض هذا الفصل معلومات عن المبنى الذي تمت الدراسة عليه، كما يتم في هذا الفصل حساب استطاعة النظام الشمسي المطلوب لتكييف المبنى قبل وبعد التبريد المسبق للمبنى.

مخطط الفصل:

- توصيف المبنى.
- حساب الاستطاعة المطلوبة للتكييف في المبنى.
- حساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتشغيل التكييف طوال فترة الدوام.
- كيفية تطبيق التبريد المسبق في فرع نقابة المهندسين.
- حساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتحقيق إزاحة حمل التكييف خارج أوقات ذروة الاستهلاك.

3.1 توصيف المبنى:

إن الحالة المدروسة هي فرع نقابة المهندسين في محافظة اللاذقية وهو مبنى إداري، يمتلك واجهات على الغرب والجنوب والشمال والشرق. يتكون المبنى من ستة طوابق وسطح، يتبع الطابق الخامس والسادس لفرع نقابة المهندسين في اللاذقية.

- الطابق الخامس: يضم ثمانية غرف، قسم منها يمتلك واجهة غربية والقسم الآخر يمتلك واجهة جنوبية.
- الطابق السادس: يضم خمس عشرة غرفة، قسم منها يمتلك واجهة نحو الجنوب وقسم نحو الغرب وغرفتين لهما واجهة شمالية، كما يوجد في هذا الطابق صالة نادي النقابة.

تم اختيار هذا المبنى لأنه:

- مبنى إداري اعتيادي مشابه للنمط السائد للمباني الإدارية في سورية.
- يتعامل المبنى مع عدد كبير من المستخدمين سواء الموظفين داخلها أو المستخدمين المنتفعين بالخدمات المقدمة وبالتالي فهو مبنى عالي الاستهلاك للطاقة.
- توفر المعلومات الخاصة بالمبنى.
- حاجة المبنى للتبريد نتيجة انقطاع الكهرباء لمدة طويلة خلال أوقات الدوام وكونه يحتوي على تجهيزات إلكترونية يتأثر عملها بارتفاع درجات الحرارة، لذلك كان لابد من البحث عن طريقة للحفاظ على تبريدها وتشغيل المكيفات.

الشكل (19): مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية

الشكل (20): موقع فرع نقابة المهندسين في اللاذقية

ويبين الجدول (1) توزع الغرف واستخداماتها واتجاهاتها:

الجدول (1): توزع الغرف واستخداماتها واتجاهاتها داخل الجزء المخصص من المبنى لفرع نقابة المهندسين

رقم الطابق	استخدام الغرفة	اتجاه الغرفة	مساحة الغرفة (متر*متر)
ط5	غرفة حواسيب	الجنوب	8×4
ط5	غرفة	الجنوب	4×4
ط5	غرفة اجتماعات	الجنوب	8×4
ط5	غرفة	الغرب	2×2
ط5	غرفة رئيس شعبة المكاتب	الغرب	8×4
ط5	مطبخ	–	3×2
ط5	غرفة لجنة الجودة	الغرب	8×4
ط5	غرفة مكتب	الغرب	8×4
ط6	غرفة النقيب	جنوب غرب	8×8
ط6	غرفة	الجنوب	8×4
ط6	غرفة أمين السر	الغرب	8×4
ط6	غرفة السكرتير	الغرب	5×2
ط6	قاعة محاضرات	الغرب	11×4
ط6	غرفة أعضاء المجلس	الجنوب	8×4
ط6	المحاسبة	الجنوب	8×4
ط6	الذاتية	الجنوب	8×4
ط6	المستودع	الجنوب	8×4

ط6	غرفة أمين الصندوق	الشمال	5×4
ط6	غرفة الديوان	الشمال	5×4
ط6	حمامين	–	5×3
ط6	مطبخ	–	2.5×1.5
ط6	صالة نادي النقابة	الغرب	16×16
ط6	مطبخ النادي	الشرق	8×4

3.2 حساب الاستطاعة المطلوبة للتكييف في المبنى:

يتم استهلاك الطاقة في مبنى فرع النقابة خلال النهار في الفترة الممتدة بين الساعة الثامنة صباحاً وحتى الساعة الثالثة ظهراً، بحسب أوقات الدوام الرسمية، وسنقوم فيما يلي بحساب الاستطاعة المطلوبة للتكييف على اعتبار أن الحاجة لتشغيل المكيفات تستمر لمدة أربع ساعات من ساعات العمل خلال فصل الصيف وارتفاع درجات الحرارة، ويبين الجدول (2) كمية الاستطاعة المستهلكة للتكيف من أجل كل غرفة.

الجدول (2): كمية الاستطاعة المستهلكة للتكيف من أجل كل غرفة

رقم الطابق	الحمل	الاستطاعة (Watt)	العدد	الاستطاعة الكلية (Watt)	عدد ساعات التشغيل في اليوم	الاستطاعة المستهلكة في اليوم (Wh)
ط5	مكيف (1طن)	1000	4	4000	4	16000
ط5	مكيف (2طن)	1750	2	3500	4	14000
ط6	مكيف (1/2 طن)	500	2	1000	4	4000
ط6	مكيف (1طن)	1000	11	11000	4	44000
ط6	مكيف (2طن)	1750	1	1750	4	7000

						85000
						21250

وبالتالي يكون:

$$\text{Total power for ACs} = 21250\ W = 21.250\ KW$$

$$E = 85000\ Wh$$

حيث:

E: الطاقة الكلية المطلوبة في اليوم.

نلاحظ أنه لتشغيل هذه الأحمال كافةً، تتطلب الأمر (21.250kW) وبالتالي فإن تشغيل هذه المكيفات من الشبكة العامة في أوقات الذروة يفرض غرامات إضافية، حيث وبحسب نظام استثمار الكهرباء في سورية، الملحق 5 منه، فإن سعر الكيلو واط الساعي من الكهرباء في وقت الذروة هو (3.76 SYP) وبالتالي تكون:

قيمة الاستهلاك من أجل التكييف في اليوم:

$$3.76 \times 85 = 319.6\ SYP$$

وتكون قيمة الاستهلاك من أجل التكييف في الشهر:

$$3.76 \times 85 \times 30 = 9588\ SYP$$

الحل الأفضل لتخفيض هذه الفواتير يكون بإزاحة التبريد إلى خارج وقت الذروة، ويمكن تحقيق ذلك وفق ما يلي:

إزاحة حمل التكييف خارج أوقات ذروة الاستهلاك، حيث سنفترض في هذا البحث توفير الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل التكييف باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية، حيث سنقوم بحساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتشغيل التكييف في فرع نقابة المهندسين، وستتألف هذه المنظومة من الألواح الشمسية الكهروضوئية والعاكس والبطاريات.

3.3 حساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتشغيل التكييف طوال فترة الدوام:

سنقوم بحساب سعة مكونات المنظومة الكهروضوئية الشمسية اللازمة لتشغيل التكييف في مبنى فرع نقابة المهندسين في اللاذقية.

3.3.1 حساب الاستطاعة الكلية للألواح الشمسية الكهروضوئية:

يتم حساب قدرة الألواح الكهروضوئية بالعلاقة (1)، [58]:

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

حيث:

P: قدرة الألواح الكلية.

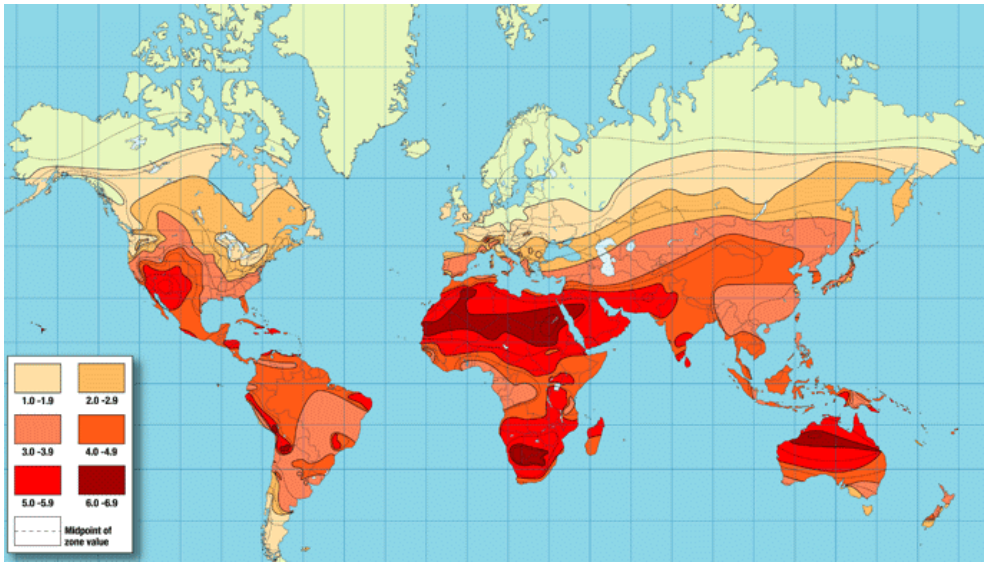
PSH: عدد ساعات الإشعاع الشمسي المفيد في اليوم.

ومن أجل تعويض الضياعات الناتجة عن مكونات النظام الشمسي، يجب إضافة الفاقد إلى إجمالي الطاقة الكهربائية المطلوبة في اليوم وذلك بالضرب بمعامل أمان 1.25 [58]:

$$E = 85000 \times 1.25$$
$$= 106250 \text{ Wh} = 106.250 \text{ kWh}$$

وبحسب أطلس الإشعاع الشمسي، الشكل (16)، فإن عدد الساعات الشمسية في سورية هو 5 ساعات [59].

$$PSH = 5 \text{ Hours}$$



الشكل (21): عدد الساعات الشمسية حسب أطلس الإشعاع الشمسي

بالتالي تصبح قيمة الاستطاعة:

$$P = \frac{106250}{5} = 21250\ W = 22000\ W = 22\ KW$$

⬅ يتطلب المبنى 22000 واط من الألواح ليتم تكييفه.

3.3.2 حساب قدرة العاكس (Inverter):

يجب أن تكون سعة العاكس أكبر من الحمل المطلوب بنسبة % (20−30) [58] [60]، وتعطى بالعلاقة (2):

$$VA_{inv} = \text{Total power for ACs} \times CF \qquad (2)$$
$$= 21250 \times 1.25 \approx 26563\ W$$

حيث:

VA_{inv}: سعة العاكس بوحدة فولت أمبير.

CF: عامل الأمان.

3.3.3 حساب نظام البطاريات:

يتم التعبير عن سعة البطاريات بوحدة أمبير ساعة (Ah). يتم أخذ عوامل مختلفة في الاعتبار أثناء اختيار حجم البطاريات أو بنك البطاريات. تشمل هذه العوامل الحمل الإجمالي للأجهزة، وعمق التفريغ، والجهد الاسمي للبطارية.

ولتحديد السعة الكلية لنظام البطاريات المطلوبة: نقسم الطاقة الكهربائية الكلية المطلوبة في اليوم على الجهد المختار [61]، تم اختيار نظام 48 فولت لأن الحمل الكهربائي عالٍ [62].

$$\frac{\mathrm{E}}{48} = \frac{106250}{48} \approx 2214 \text{ Ah}$$

نقسم الناتج على عمق التفريغ Depth of Discharge (DOD) لنحصل على السعة الكلية لنظام البطاريات، لأننا لا نقوم بتفريغ كامل سعة البطارية، وذلك للمحافظة على البطاريات من التلف وإطالة عمرها التشغيلي، بفرض أن قيمة عمق التفريغ هي 80%، يكون:

$$Ah_{(bank)} = \frac{2214}{DOD} = \frac{2214}{0..80} = 2768 \text{ Ah} \qquad (3)$$

حيث

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

DOD: عمق التفريغ.

ولتحديد عدد البطاريات المطلوبة، نستخدم العلاقة (4) [61]:

$$\boldsymbol{N_{(batteries)}} = \frac{Ah_{(bank)}}{Ah_{(battery)}} \qquad (4)$$

حيث:

$\boldsymbol{N_{(batteries)}}$: عدد البطاريات.

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

عند اختيار سعة البطارية 200 أمبير ساعة يكون عدد البطاريات:

$$= \frac{2768}{200} = 13.8 \approx 14$$

⟸ عدد البطاريات يساوي تقريباً 14 بطارية بقدرة كل بطارية 48 فولت و 200 أمبير.

3.4 كيفية تطبيق التبريد المسبق في فرع نقابة المهندسين:

يقدر شروق الشمس في سورية في فصل الصيف حوالي الساعة 5:45 صباحاً تقريباً، وتغيب في الساعة 19:43 مساءاً، ويكون طول النهار في الصيف 14 ساعة، وتبدأ الحرارة بالارتفاع عند حوالي الساعة العاشرة صباحاً.

في حال القيام بالتبريد المسبق في وقت الذروة بالاعتماد على نظام الطاقة الشمسية وذلك عن طريق ضبط المكيفات على درجة حرارة 22° لمدة ساعتين يومياً من الساعة التاسعة صباحاً حتى الساعة الحادية عشرة، حيث تكون الطاقة الكهربائية الناتجة عن المنظومة الشمسية الكهروضوئية كافية لتبريد الهواء داخل غرف المبنى، من أجل الحفاظ على درجة حرارة 22° خلال الساعتين التاليتين، وبعدها تبدأ درجة الحرارة بالارتفاع بمعدل معتدل، وتبقى درجة الحرارة ضمن حدود الراحة الحرارية في المبنى خلال فترة الدوام.

3.5 حساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتحقيق إزاحة حمل التكييف خارج أوقات ذروة الاستهلاك:

سنقوم بحساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية في حال استخدامها لتحقيق إزاحة حمل التبريد فقط، أي أن عدد ساعات التشغيل سينخفض إلى ساعتين فقط، فتكون الطاقة الكهربائية الكلية المطلوبة في اليوم:

$$E = \text{Total power for ACs} \times T_U$$

$$= 21250 \times 2 = 42500 \text{ Wh}$$

حيث:

T_U : عدد ساعات التشغيل في اليوم

نضرب بعامل الأمان 1.25:

$$E = 42500 \times 1.25 = 53125 \text{ Wh}$$

3.5.1 حساب سعة الألواح اللازمة في حال تطبيق التبريد المسبق:

يتم حساب قدرة الألواح الكهروضوئية بالعلاقة (1)، مع الأخذ بعين الاعتبار أن عدد الساعات الشمسية في سورية هو 5 ساعات [59].

$$P = \frac{E}{PSH} = \frac{53125}{5} = 10625 \approx 11000 \text{ W} = 11 \text{ kw}$$

3.5.2 حساب السعة الكلية لنظام البطاريات المطلوبة:

تم اختيار نظام 48 فولت لأن الحمل الكهربائي عالٍ [62]، ويتم حساب الأمبير الساعي المطلوب بالعلاقة (3) [61] :

$$\frac{E}{48} = \frac{53125}{48} \approx 1107 \text{ Ah}$$

$$Ah_{(bank)} = \frac{1107}{DOD} = \frac{1107}{0..80} = 1384 \text{ Ah}$$

عدد البطاريات المطلوبة [61]:

يتم تحديد عدد البطاريات المطلوبة بالعلاقة (4):

$$N_{(batteries)} = \frac{Ah_{(bank)}}{Ah_{(battery)}} = \frac{1384}{200} = 6.92 = 7$$

نلاحظ انخفاض سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية المطلوبة إلى النصف عند تطبيق التبريد المسبق بالاعتماد على النظام الشمسي الكهروضوئي في المبنى.

وعند الحاجة لتشغيل المكيفات اعتماداً على الطاقة الكهربائية من الشبكة العامة يومياً لمدة ساعة من الساعة الثانية ظهراً وحتى الساعة الثالثة، يكون سعر الكيلو واط الساعي من الكهرباء في هذا الوقت 2.5 SYP، وذلك بحسب نظام استثمار الكهرباء في سورية الملحق 5 منه، وبالتالي تكون:

قيمة الاستهلاك من أجل التكييف في اليوم:

$$2.5 \times 21.250 = 53.125 \text{ SYP}$$

وتكون قيمة الاستهلاك من أجل التكييف في الشهر:

$$2.5 \times 21.250 \times 30 = 1594 \text{ SYP}$$

3.6 حساب مقدار الانخفاض في انبعاثات CO2:

إن كل 1 كيلو واط ينتجه نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية يوفر 1 كيلو غرام من انبعاثات غاز CO_2 في الجو [63]، وبالتالي:

كمية الانخفاض في انبعاثات غاز CO_2 = $42.500 \times 1 = 42.5$ كيلو غرام

4. الفصل الرابع: مناقشة النتائج والاستنتاجات والتوصيات

Chapter (4): Discussion of results, conclusions and recommendation

ملخص الفصل:

يستعرض هذا الفصل النتائج التي تم التوصل إليها وتوصيات الباحث.

مخطط الفصل:

- مقدمة.
- الاستنتاجات.
- التوصيات.

4.1 مقدمة:

تمت دراسة إمكانية تقليل الطلب على الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل المكيفات في مبنى فرع نقابة المهندسين عن طريق القيام بالتبريد المسبق بإزاحة وقت التبريد باستخدام نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

تم حساب سعة المنظومة الشمسية الكهروضوئية اللازمة لتشغيل المكيفات يومياً لمدة 4 ساعات، ثم تمت دراسة التغيرات الحاصلة بسبب التبريد المسبق، حيث تم تشغيل مكيفات الهواء باستخدام نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية عند نقاط ضبط درجة حرارة أقل من المعتاد (22°) وذلك لمدة ساعتين من الساعة التاسعة صباحاً وحتى الساعة الحادية عشرة.

4.2 الاستنتاجات:

1- انخفاض سعة المنظومة الشمسية المطلوبة بنسبة 50% عند القيام بالتبريد المسبق في المبنى.

2- أظهرت النتائج أن الطلب على التبريد يمكن تخفيضه بشكل كبير خلال فترات الدوام عند القيام بالتبريد المسبق بالاعتماد على منظومة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

3- إن قيمة الاستهلاك اليومي عند التبريد باستخدام الطاقة الكهربائية من الشبكة العامة كانت 85 كيلو واط ساعي، وعند القيام بالتبريد المسبق أصبحت قيمة الاستهلاك اليومي من الشبكة العامة 21.250 كيلو واط ساعي.

4- بينت الدراسة أنه في حال احتاج المبنى إلى تشغيل المكيفات باستخدام شبكة الكهرباء العامة خارج أوقات الذروة وذلك لمدة ساعة في اليوم، تصبح قيمة استهلاك الكهرباء الشهرية أقل بنسبة 83% من الاستهلاك الشهري الكائن قبل تركيب نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتطبيق التبريد المسبق المقترح في هذا البحث.

5- تبين أنه يمكن تحقيق انخفاض بقيمة 42.5 كيلو غرام من انبعاثات غاز CO_2 يومياً بعد التبريد المسبق باستخدام نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

4.3 التوصيات:

في ضوء النتائج التي تم التوصل إليها، يوصي الباحث بما يلي:

1) دراسة استبدال المكيفات الموجودة في المبنى بمكيفات الطاقة الشمسية الهجينة التي تستهلك كميات أقل من الطاقة الكهربائية مقارنةً بالمكيفات المستخدمة حالياً، وتتميز بأنها تعمل على الطاقة الشمسية الكهروضوئية إضافةً لعملها بالتوصيل مع الشبكة العامة.
2) دراسة تطبيق الألواح الشمسية الكهروضوئية ذات أنصاف الخلايا (Half-cut cells PV modules)، لأنه من سيئات استخدام الألواح ذات الخلايا الكاملة (Full cell PV modules) انخفاض قدرة الألواح إلى قيمة قريبة من الصفر عند تعرض جزء منها للتظليل.
3) إجراء دراسة لتحسين عزل المبنى حرارياً.
4) العمل على نشر ثقافة الاستدامة في الطاقة من خلال التأكيد على استخدام مصادر الطاقات البديلة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتطبيقاتها وتوضيح أهميتها ودورها والفوائد التي تعود على المواطنين منها وعلى البيئة.

المراجع:

[1] K. R. Keeney and J. E. Braun, 'Application of building precooling to reduce peak cooling requirements', *ASHRAE transactions*, vol. 103, no. 1, pp. 463–469, 1997.

[2] C. J. Klaassen, J. M. House, and I. E. Center, 'Demonstration of load shifting and peak load reduction with control of building thermal mass', *Teaming for Efficiency: Commercial buildings: technologies, design, performance analysis, and building industry trends*, vol. 3, p. 55, 2002.

[3] W. J. Turner, J. Roux, and I. S. Walker, 'Reducing residential peak electricity demand with mechanical pre-cooling of building thermal mass', 2014.

[4] D. Johnston, 'Solar-Based Pre-Heating and Pre-Cooling of Buildings to Reduce Overnight Energy Demand', in *Proceedings of the 8th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning*, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 465–471. doi: 10.1007/978-3-642-39578-9_49.

[5] R. Arababadi and K. Parrish, 'Reducing the Need for Electrical Storage by Coupling Solar PVs and Precooling in Three Residential Building Types in the Phoenix Climate.', *ASHRAE Transactions*, vol. 123, 2017.

[6] A. Vishwanath, S. Tripodi, V. Chandan, and C. Blake, 'Enabling real-world deployment of data driven pre-cooling in smart buildings', in *2018 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 2018, pp. 1–5.

[7] P. C. Tabares-Velasco, A. Speake, M. Harris, A. Newman, T. Vincent, and M. Lanahan, 'A modeling framework for optimization-based control of a residential building thermostat for time-of-use pricing', *Applied Energy*, vol. 242, pp. 1346–1357, 2019.

[8] Y. Chen *et al.*, 'Experimental investigation of demand response potential of buildings: Combined passive thermal mass and active storage', *Applied Energy*, vol. 280, p. 115956, 2020.

[9] S. Naderi, S. Heslop, D. Chen, I. MacGill, and G. Pignatta, 'Cost-Saving through Pre-Cooling: A Case Study of Sydney', *Environmental Sciences Proceedings*, vol. 12, no. 1, p. 2, 2021.

[10] الياس، لويفي, and 'الطاقات المتجددة ودورها في تحقيق التنمية المستدامة-دراسة حالة الجزائر ,'ونانيي, PhD Thesis, 2021 جامعة المسيلة،.

[11] U. Shahzad, 'The need for renewable energy sources', *energy*, vol. 2, pp. 16–18, 2012.

[12] D. Maradin, L. Cerović, and T. Mjeda, 'Economic effects of renewable energy technologies', *Naše gospodarstvo/Our economy*, vol. 63, no. 2, pp. 49–59, 2017.

[13] T.-Z. Ang, M. Salem, M. Kamarol, H. S. Das, M. A. Nazari, and N. Prabaharan, 'A comprehensive study of renewable energy sources: classifications, challenges and suggestions', *Energy Strategy Reviews*, vol. 43, p. 100939, 2022.

[14] الإطار التحليلي للطاقة المتجددة'، *مجلة البحوث والدراسات الإفريقية* ' ,*et al.* ع. ا. خالد براك خلف براك *ودول حوض النيل*, vol. 2, no. 1, pp. 688–708, 2021.

[15] ن. محمد، 'الاتجاهات الحديثة في دراسات جغرافية الطاقة المتجددة خلال المدة (2011– and ن. م. عرفات *المجلة العربية للدراسات الجغرافية*)'، 2021م, vol. 5, no. 14, pp. 1–44, 2022.

[16] A. Jäger-Waldau, 'European Photovoltaics in world wide comparison', *Journal of non-crystalline solids*, vol. 352, no. 9–20, pp. 1922–1927, 2006.

[17] T. M. Razykov, C. S. Ferekides, D. Morel, E. Stefanakos, H. S. Ullal, and H. M. Upadhyaya, ‘Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects’, *Solar energy*, vol. 85, no. 8, pp. 1580–1608, 2011.
[18] A. Al-Sarraj, H. T. Salloom, and S. Z. Oleiwi, ‘Reviewing Energy Efficiency with the Development of Luminescent Solar Panels’, *International Journal of Environment, Engineering and Education*, vol. 2, no. 2, pp. 1–6, 2020.
[19] L. El Chaar and N. El Zein, ‘Review of photovoltaic technologies’, *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 15, no. 5, pp. 2165–2175, 2011.
[20] A. Goetzberger, C. Hebling, and H.-W. Schock, ‘Photovoltaic materials, history, status and outlook’, *Materials science and engineering: R: Reports*, vol. 40, no. 1, pp. 1–46, 2003.
[21] J. L. Silveira, C. E. Tuna, and W. de Queiroz Lamas, ‘The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 20, pp. 133–141, 2013.
[22] J. Mundo-Hernández, B. de Celis Alonso, J. Hernández-Álvarez, and B. de Celis-Carrillo, ‘An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany’, *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 31, pp. 639–649, 2014.
[23] M. G. Fikru, ‘Estimated electricity bill savings for residential solar photovoltaic system owners: Are they accurate enough?’, *Applied Energy*, vol. 253, p. 113501, 2019.
[24] A. Nishimura *et al.*, ‘Life cycle assessment and evaluation of energy payback time on high-concentration photovoltaic power generation system’, *Applied Energy*, vol. 87, no. 9, pp. 2797–2807, 2010.
[25] م. لطفي، *الخلايا الشمسية*. دمشق: دار أسامة للطباعة والنشر، 2007.
[26] F. Salvo, M. Ciuna, M. De Ruggiero, and S. Marchianò, ‘Economic valuation of ground mounted photovoltaic systems’, *Buildings*, vol. 7, no. 2, p. 54, 2017.
[27] A. B. Awan, M. Alghassab, M. Zubair, A. R. Bhatti, M. Uzair, and G. Abbas, ‘Comparative analysis of ground-mounted vs. rooftop photovoltaic systems optimized for interrow distance between parallel arrays’, *Energies*, vol. 13, no. 14, p. 3639, 2020.
[28] L. Yankiv-Vitkovska, B. Peresunko, I. Wycza\lek, and J. Papis, ‘Site selection for solar power plant in Zaporizhia city (Ukraine)’, *Geodesy and Cartography*, vol. 69, no. 1, 2020.
[29] H. Marrou, J. Wéry, L. Dufour, and C. Dupraz, ‘Productivity and radiation use efficiency of lettuces grown in the partial shade of photovoltaic panels’, *European Journal of Agronomy*, vol. 44, pp. 54–66, 2013.
[30] C. Toledo and A. Scognamiglio, ‘Agrivoltaic systems design and assessment: A critical review, and a descriptive model towards a sustainable landscape vision (three-dimensional agrivoltaic patterns)’, *Sustainability*, vol. 13, no. 12, p. 6871, 2021.
[31] N. Skandalos and D. Karamanis, ‘PV glazing technologies’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 306–322, 2015.
[32] L. Olivieri, E. Caamaño-Martín, F. J. Moralejo-Vázquez, N. Martín-Chivelet, F. Olivieri, and F. J. Neila-Gonzalez, ‘Energy saving potential of semi-transparent photovoltaic elements for building integration’, *Energy*, vol. 76, pp. 572–583, 2014.

[33] T.-T. Chow, Z. Qiu, and C. Li, 'Potential application of "see-through" solar cells in ventilated glazing in Hong Kong', *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 93, no. 2, pp. 230–238, 2009.
[34] G. Yu, H. Yang, D. Luo, X. Cheng, and M. K. Ansah, 'A review on developments and researches of building integrated photovoltaic (BIPV) windows and shading blinds', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 149, p. 111355, 2021.
[35] W. He, Y. X. Zhang, W. Sun, J. X. Hou, Q. Y. Jiang, and J. Ji, 'Experimental and numerical investigation on the performance of amorphous silicon photovoltaics window in East China', *Building and Environment*, vol. 46, no. 2, pp. 363–369, 2011.
[36] S. Naderi, G. Pignatta, S. Heslop, I. MacGill, and D. Chen, 'Demand response via pre-cooling and solar pre-cooling: a review', *Energy and Buildings*, p. 112340, 2022.
[37] K. D. Shinde and P. B. Mane, 'Augmenting rooftop solar energy penetration ratio with secondary distribution network using smart inverter for maximum power transfer capacity for subordinate grid-A review', *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, vol. 41, no. 6, pp. 713–733, 2019.
[38] ح. طالب and ز. عادل، 'تحسين مردود الألواح الشمسية باستخدام العواكس المسطحة', PhD Thesis, جامعـة قاصـدي مربـاح ورقلـة.
[39] A. Sofijan, B. Y. Suprapto, M. Khori, and Z. Nawawi, 'Efficiency Analysis of the Effect of Radiation and Temperature on Photovoltaic Monocrystalline, Polycrystalline, and Amorphous Recorded by Data Logger Based on Arduino Mega 2560', *Solid State Technology*, vol. 63, no. 6, pp. 18760–18770, 2020.
[40] M. F. Nayan, S. S. Ullah, and S. N. Saif, 'Comparative analysis of PV module efficiency for different types of silicon materials considering the effects of environmental parameters', in *2016 3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*, 2016, pp. 1–6.
[41] ع. المطلب، 'دراسة and س. ع. ا. ع. ا. أبوزيد، س. ع. ا. ع. الرشيد، زهران، أ. ع. ا. حسن، ع. الحميد, جدوى اقتصادية لمشروع محطة كهرباء للاستخدام المنزلي بالطاقة الشمسية', *Journal of Environmental Studies and Researches*, vol. 9, no. 4), pp. 517–531, 2019.
[42] م. م. الشلماني and د. ن. ر. مزنوق، د. غ. ع. ا. المعراتي, 'Measurement the Performance and the Current Variations of an Experimental Solar Cell System in Al-Marj City', *المجلة الليبية العالمية*, no. 53, 2021.
[43] A. Joshi, A. Khan, and S. P. Afra, 'Comparison of half cut solar cells with standard solar cells', in *2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, 2019, pp. 1–3.
[44] M. Mehrtash, G. Quesada, Y. Dutil, and D. Rousse, 'Performance evaluation of sun tracking photovoltaic systems in Canada', 2012.
[45] M. S. Salim, J. M. Najim, and S. M. Salih, 'Practical evaluation of solar irradiance effect on pv performance', *Energy Science and Technology*, vol. 6, no. 2, pp. 36–40, 2013.
[46] K. A. Moharram, M. S. Abd-Elhady, H. A. Kandil, and H. El-Sherif, 'Enhancing the performance of photovoltaic panels by water cooling', *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 4, no. 4, pp. 869–877, 2013.
[47] F. M. Zaihidee, S. Mekhilef, M. Seyedmahmoudian, and B. Horan, 'Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 65, pp. 1267–1278, 2016.

[48] V. Quaschning and R. Hanitsch, 'Numerical simulation of current-voltage characteristics of photovoltaic systems with shaded solar cells', *Solar energy*, vol. 56, no. 6, pp. 513–520, 1996.
[49] J. Viitanen, 'Energy efficient lighting systems in buildings with integrated photovoltaics', 2015.
[50] M. C. Alonso-Garcia, J. M. Ruiz, and F. Chenlo, 'Experimental study of mismatch and shading effects in the I–V characteristic of a photovoltaic module', *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 90, no. 3, pp. 329–340, 2006.
[51] 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.
[52] T. Majaw, R. Deka, S. Roy, and B. Goswami, 'Solar charge controllers using MPPT and PWM: A review', *ADBU Journal of Electrical and Electronics Engineering (AJEEE)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–4, 2018.
[53] M. R. Hamid, J. Rahimi, S. Chowdhury, and T. M. Sunny, 'Design and Development of a Maximum Power Point Tracking (MPPT) charge controller for Photo-Voltaic (PV) power generation system', *American journal of engineering research (AJER)*, vol. 5, no. 5, pp. 15–22, 2016.
[54] P. Manimekalai, R. Harikumar, and S. Raghavan, 'An overview of batteries for photovoltaic (PV) systems', *International Journal of Computer Applications*, vol. 82, no. 12, 2013.
[55] C.-Y. Park *et al.*, 'Inverter efficiency analysis model based on solar power estimation using solar radiation', *Processes*, vol. 8, no. 10, p. 1225, 2020.
[56] D. Kolantla, S. Mikkili, S. R. Pendem, and A. A. Desai, 'Critical review on various inverter topologies for PV system architectures', *IET Renewable Power Generation*, vol. 14, no. 17, pp. 3418–3438, 2020.
[57] P. Sivaraman and C. Sharmeela, 'Solar Micro-Inverter', in *Handbook of research on recent developments in electrical and mechanical engineering*, IGI Global, 2020, pp. 283–303.
[58] 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.
[59] Ş. Kuzey and M. T. Güneşer, 'Evaluation of Solar Energy Potential in Eastern Black Sea Region: Giresun University Application'.
[60] E. N. A. AlShemmary, L. M. Kadhom, and W. J. Al-Fahham, 'Information technology and stand-alone solar systems in tertiary institutions', *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 369–379, 2013.
[61] 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.
[62] ك. محمد، *الطاقة الكهروشمسية*. الاسكندرية، 2016.
[63] ض. جديد، 'دراسة بيئية تحليلية اقتصادية للطاقة الكهروشمسية/حالة محافظة طرطوس'، *مجلة بحوث جامعة حلب سلسلة الهندسة الكهروميكانيكية والمعلوماتية*، 2020.