

جامعة قاصدي مرباح - ورقلة  
كلية التكنولوجيات الحديثة للمعلومات والاتصال  
قسم الإلكترونيك والاتصالات



مذكرة مكملة لنيل شهادة ماستر مهني

ميدان: علوم وتكنولوجيا

فرع: إلكترونيك

تخصص: أجهزة وأنظمة

من إعداد:

نقودي بلال و جبالي محمد الغزالي

الموضوع:

مقارنة تجريبية بين متتبعي الشمس ثنائي المحور وذو  
المحور الواحد (القطبي) في تحسين أداء الألواح الشمسية  
الكهروضوئية بمنطقة ورقلة

نوقشت وأجيزت علنا يوم: 2023/06/19

أمام اللجنة المكونة من:

رئيسا	جامعة ورقلة	أستاذ التعليم العالي	شريف فلة
مشرفا ومقررا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر ب	راشدي محمد ياسين
مناقشا	جامعة ورقلة	أستاذ محاضر ب	أبي مولود عادل

السنة الجامعية: 2023/2022



## إهداء

الحمد لله بعد أعوام الدراسة والتعب والتوفيق من الله تخرجت بفضل الله ودعاء أحبتي  
ومساندتهم ودعمهم إلي أهدي تخرجي وفرحتي هذه إلى أهلي وأقاربي وكل عزيز غائب  
عن عيني وحاضر في قلبي

أشكرا لله لما وفقنا لهذا ونسأله التوفيق في الحياة وأن يوفقنا  
إلى ما هو أفضل لنا و لما يحبه ويرضاه علينا  
إلى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطرة الحب إلى من كانت أنامله ليسقينا لحظة سعادة،  
إلى من عمل بكد في سبيلي وعلمني معنى الكفاح، إلى من دفعني إلى العلم وبه ازداد  
افتخار والدي العزيز  
إلى من ربنتي وأنارت دربي، إلى معنى الحب وبسمة الحياة إلى من كان دعائها سر نجاحي  
إلى أغلى الحبايب أمي الحبيبة  
إلى من هم أقرب إلى روعي وبهم استمد عزمي وإصراري إلى زينة الحياة وشموع الدرب  
أخواني وأخواتي الأعزاء  
خديجة، لقمان، البخاري، يمينة  
إلى كل من رافقني في مشواري الدراسي  
وإلى جميع طلبة ثانية ماستر أجهزة وأنظمة دفعة 2023  
إلى كل الأساتذة الذين رافقوني طيلة مشواري الدراسي جميعا أهديهم ثمرة  
مجهودي هذا والله ولي توفيق

**جبالي محمد الغزالي**

## إهداء

الحمد لله الذي نفتح بحمده الكلام  
والحمد لله الذي قسم رحمته بين المخلوقات  
ورفع المؤمنين الذين أوتوا العلم درجات  
اللهم صلى على محمد وعلى آله وصحبه وسلم تسليماً  
أما بعد:  
أهدي ثمرة هذا العمل إلى التي جعل الله الجنة تحت أقدامها  
إلى من رعنتي وكستني بعطفها  
إلى أحب الناس على قلبي أُمي العزيزة حفظها الله وأبقاها تاج على رأسي.  
إلى قدوتي ومثلي الذي أحسن تربتي وغرس في روعي مكارم الأخلاق  
وضحى براحته من أجل سعادتني أبي العزيز حفظه الله وأطال في عمره  
إلى توأم روعي أختي العزيزة وجدتي حفظها الله ورعاها.  
إلى زملائي الذين شاركوني مقاعد الدراسة  
إلى كل من وقعت عليه عيني من أهل الخير  
وإلى من ساعدوني في إنجاز هذا العمل من قريب أو بعيد.

## نقودي بلال

## تشكرات

الحمد لله نعمده وهو المستحق للحمد والثناء ونستعين به في السراء والضراء،

ونتوكل عليه في جميع أمورنا

ونصلي ونسلم على خير الخلق سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم

نتقدم بأسمى عبارات الشكر والتقدير إلى كل من أوقد لنا مشعل الحياة

وحملنا على سفينة النجاة

إلى كل من صرنا بفضلہ نكتب ونقرأ

إلى كل من علمنا علما به ينتفع وأدب به يرتفع

بدأ من معلمي الابتدائي وصولاً إلى أساتذتنا في التعليم العالي

تحية عطر وشكر خاص للدكتور المشرف راشد محمد ياسين

الذي أفادنا بنصائحه وتوجيهاته

وتحية طيبة إلى اللجنة الموقرة كل باسمه التي تكرمتم بمناقشة هذه المذكرة

وفي الأخير كل من ساهم في مساعدتنا لإنجاز هذا العمل المتواضع من قريب أو من بعيد.

## ملخص

في هذه الدراسة، والتي نهدف من خلالها إلى المساهمة في تحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية باستخدام تقنية التتبع الشمسي وذلك بمقارنة نوعين من المتتبعات: أحادي المحور (القطبي) وثنائي المحور من خلال دراسة تجريبية بحتة. ولتحقيق ذلك، قمنا بتركيب ثلاث ألواح شمسية كهروضوئية متشابهة: الأول ساكن ويدعى الشاهد، الثاني مثبت على المتتبع القطبي والثالث مثبت على المتتبع ثنائي المحور بمنطقة سيدي خويلد ولاية ورقلة، والمقارنة بينهم من شروق الشمس إلى غروبها.

وقد خلصت الدراسة إلى أن اللوح المثبت على المتتبع الثنائي ينتج استطاعة كهربائية هي الأعلى خلال كامل ساعات النهار، يليه في ذلك اللوح المثبت على المتتبع القطبي وذلك لأنهما في غالب الأحيان مواجهين للشمس. حيث بلغت نسبة المعدل اليومي لزيادة الاستطاعة الكهربائية المنتجة من طرف اللوح المثبت على المتتبع ثنائي المحور مقارنة بالثابت ليوم 2023/05/21 56,17% و41,72% بالنسبة للمثبت على المتتبع القطبي مقارنة بالثابت.

هذه النتائج تحفزنا لاستخدام المتتبع القطبي لتحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية بدلا من الثنائي الذي يعتبر أعلى كلفة ويحتاج إلى الكثير من الصيانة ونسبة تحسنه للطاقة الكهربائية المنتجة لا ترتفع كثيرا عنها بالنسبة للمتتبع القطبي.

**الكلمات المفتاحية:** الألواح الشمسية الكهروضوئية، متتبع الشمس القطبي، متتبع الشمس ثنائي المحور، الإشعاع الشمسي، تحسين المردود، منطقة ورقلة.

## Résumé

Dans cette étude, nous visons à contribuer à l'amélioration des performances des panneaux solaires photovoltaïques en utilisant la technologie de suivi solaire, en comparant deux types de suiveurs: un suiveur mono-axe (polaire) et un suiveur bi-axiale, à travers une étude expérimentale pure. Pour ce faire, nous avons installé trois panneaux solaires photovoltaïques identiques : le premier statique, appelée "témoin", le deuxième monté sur un suiveur polaire et le troisième monté sur un suiveur bi-axiale, dans la région de Sidi Khouiled, wilaya de Ouargla. La comparaison a été effectuée du lever au coucher du soleil.

L'étude a conclu que le panneau monté sur le suiveur bi-axiale produit la puissance électrique la plus élevée pendant toute la journée, suivi du panneau monté sur le suiveur polaire, car les deux sont souvent orientés vers le soleil. Le taux moyen d'augmentation de la puissance électrique produite par le panneau monté sur le suiveur bi-axiale par rapport au statique le 21/05/2023 était de 56,17 %, et de 41,72 % pour le panneau monté sur le suiveur polaire par rapport au statique.

Ces résultats nous encouragent à utiliser le suiveur polaire pour améliorer les performances des panneaux solaires photovoltaïques, plutôt que le suiveur bi-axiale, qui est plus coûteux, nécessite davantage d'entretien et n'améliore pas beaucoup la production d'énergie électrique par rapport au suiveur polaire.

**Mots-clés:** panneaux solaires photovoltaïques, suiveur solaire polaire, suiveur solaire bi-axiale, rayonnement solaire, amélioration de rendement, région de Ouargla.

## Abstract

In this study, we aim to contribute to the improvement of photovoltaic solar panel performance using solar tracking technology, by comparing two types of trackers: a single-axis (polar) tracker and a dual-axis tracker through a pure experimental study. To achieve this, we installed three identical photovoltaic solar panels: the first one static, referred to as the "control," the second mounted on a polar tracker, and the third mounted on a dual-axis tracker in the Sidi Khouiled region, Ouargla province. The comparison was conducted from sunrise to sunset.

The study concluded that the panel mounted on the dual-axis tracker produces the highest electrical power throughout the day, followed by the panel mounted on the polar tracker, as both are often facing the sun. The average daily increase in electrical power produced by the panel mounted on the dual-axis tracker compared to the static one on 21/05/2023 was 56.17%, and 41.72% for the panel mounted on the polar tracker compared to the static one.

These results encourage us to use the polar tracker to enhance the performance of photovoltaic solar panels, rather than the dual-axis tracker, which is more expensive, requires more maintenance, and does not significantly improve electricity production compared to the polar tracker.

**Keywords:** photovoltaic solar panels, polar solar tracker, dual-axis solar tracker, solar radiation, performance improvement, Ouargla region.

# الفهرس

I.....	إهداء
III.....	تشكرات
IV.....	ملخص
V.....	الفهرس
VI.....	قائمة الأشكال
VIII.....	قائمة الجداول
IX.....	قائمة الرموز
X.....	قائمة الاختصارات
1.....	مقدمة عامة

## الفصل الأول: عموميات حول الطاقة الشمسية الكهروضوئية

3.....	1-I مقدمة
3.....	2-I الطاقة الشمسية
4.....	1-2-I الطاقة الشمسية الكهروضوئية
4.....	2-2-I تحويل الضوء إلى كهرباء
6.....	3-2-I التأثير الكهروضوئي
6.....	3-I الألواح الشمسية
6.....	1-3-I طريقة عمل الألواح الشمسية
7.....	2-3-I مكونات الألواح الشمسية
10.....	2-3-I الخلية الكهروضوئية PV
11.....	3-3-I أنواع الخلايا الكهروضوئية
13.....	4-I نموذج مكافئ كهربائي للخلية الكهروضوئية
14.....	5-I خصائص الوحدة الكهروضوئية
17.....	1-5-I خصائص التيار والجهد والاستطاعة للخلية الكهروضوئية
17.....	2-5-I تجمع الألواح الكهروضوئية على التسلسل
18.....	3-5-I تجمع الألواح الكهروضوئية على التفرع
19.....	4-5-I تجميع الخلايا على التسلسل وعلى التفرع
20.....	6-I الجوانب الايجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية

20	1-6-I الجوانب الإيجابية
20	2-6-I الجوانب السلبية
21	7-I خاتمة

### الفصل الثاني: متتبعات الشمس

23	1-II مقدمة
23	2-II تقنية المتتبع الشمسي
23	3-II المتتبع الشمسي
25	4-II أنواع المتتبعات الشمسية
25	1-4-II حسب آلية التوجيه
25	1-1-4-II متتبع شمسي نشط
25	2-1-4-II متتبع شمسي غير نشط (سلبي)
26	2-4-II حسب درجة حرية الحركة
26	1-2-4-II متتبع شمسي ذو محور أفقي
27	2-2-4-II متتبع شمسي ذو محور عمودي
28	3-2-4-II متتبع شمسي ثنائي المحور (ارتفاع/سمت)
28	4-2-4-II متتبع شمسي زمني
29	3-4-II حسب آلية التحكم
29	1-3-4-II التحكم ذو الحلقة المفتوحة
29	2-3-4-II التحكم ذو الحلقة المغلقة
30	3-3-4-II التحكم الهجين
30	5-II التطور التكنولوجي للمتتبعات الشمسية
31	6-II إيجابيات وسلبيات جهاز تعقب الطاقة الشمسية
31	1-6-II الإيجابيات
32	2-6-II السلبيات
33	7-II خاتمة

### الفصل الثالث: الدراسة التجريبية

35	1-III مقدمة
35	2-III الدراسات السابقة
37	3-III الدراسة التجريبية

37	III-3-1 الموقع الجغرافي لمكان التجربة .....
38	III-3-2 المعلومات المناخية ليوم إجراء التجارب.....
40	III-3-3 مرحلة إجراء التجارب .....
41	III-3-4 مقارنة النتائج المتحصل عليها خلال فترة الدراسة.....
41	III-3-4-1 مقارنة درجة الحرارة للألواح الشمسية.....
43	III-3-4-2 مقارنة شدة الإشعاع الشمسي الساقط على أسطح الألواح الشمسية الثلاثة.....
44	III-3-4-3 مقارنة الاستطاعة الكهربائية المنتجة من طرف الألواح الشمسية الثلاثة.....
46	III-3-4-4 التحسين في شدة الإشعاع الساقط على سطح اللوح الشمسي.....
47	III-3-4-5 التحسين في قيمة الاستطاعة المنتجة من طرف الألواح الشمسية.....
47	III-4-4 الدراسة التقنو إقتصادية.....
48	III-5 خاتمة.....
50	خاتمة عامة.....
52	قائمة المصادر والمراجع .....

## قائمة الأشكال

- 4 ..... الشكل (1.I): رسم شكلي الطاقة الشمسية.
- 5 ..... الشكل (2.I): تحويل الضوء إلى كهرباء.
- 5 ..... الشكل (3.I): استخدامات الطاقة الشمسية.
- 7 ..... الشكل (4.I): مكونات منظومة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.
- 7 ..... الشكل (5.I): رسم تخطيطي للوحة الطاقة الشمسية.
- 8 ..... الشكل (6.I): زجاج اللوح الكهروضوئي.
- 9 ..... الشكل (7.I): هيكل من الألومنيوم.
- 9 ..... الشكل (8.I): يمثل فيلم EVA في اللوح الشمسي.
- 10 ..... الشكل (9.I): صندوق التوصيلات في اللوح الشمسي.
- 11 ..... الشكل (10.I): خلية شمسية.
- 11 ..... الشكل (11.I): خلية كهروضوئية متعددة الوصلات.
- 12 ..... الشكل (12.I): خلية كهروضوئية أحادية البلورة.
- 12 ..... الشكل (13.I): خلية كهر وضوئية متعددة البلورة.
- 13 ..... الشكل (14.I): الخلايا الضوئية من نوع النحاس - الإنديوم - السيلينيوم (CIS).
- 13 ..... الشكل (15.I): خلية كهروضوئية غير متبلورة.
- 14 ..... الشكل (16.I): الشكل المكافئ الكهربائي للخلية الكهروضوئية.
- 15 ..... الشكل (17.I): منحنى خاصية (I-V).
- 15 ..... الشكل (18.I): منحنى خاصية (P-V).
- 16 ..... الشكل (19.I): تأثير درجة الحرارة على الخصائص الكهربائية (1) 25°C , (2) 45 °C , (3) 65°C.....
- 17 ..... الشكل (20.I): تأثير الإضاءة على الخصائص (1) 1000W/m<sup>2</sup> , (2) 800W/m<sup>2</sup> , (3) 600W/m<sup>2</sup>.....
- 18 ..... الشكل (21.I): الخاصية المثالية ل (n) لوح شمسي متماثل مربوط على التسلسل.
- 19 ..... الشكل (22.I): الخاصية المثالية للألواح الكهروضوئية المربوطة على التفرع.
- 19 ..... الشكل (23.I): مخطط تجميع الخلايا على التسلسل وعلى التفرع.
- 24 ..... الشكل (1.II): نموذج لـ heliostat في أولى استخداماته.
- 25 ..... الشكل (2.II): متتبع شمسي بآلية التحكم الإيجابي (النشط).
- 26 ..... الشكل (3.II): متتبع شمسي بآلية التحكم السلبي.
- 27 ..... الشكل (4.II): متتبع شمسي ذو محور أفقي.

- الشكل (5.II): متتبع شمسي ذو محور عمودي..... 27
- الشكل (6.II): متتبع شمسي ثنائي محور الدوران..... 28
- الشكل (7.II): تحكم ذو حلقة مفتوحة..... 29
- الشكل (8.II): تحكم ذو حلقة مغلقة..... 29
- الشكل (1.III) : اللوح الثابت مع المتتبع الشمسي ثنائي المحور في وضعيات مختلفة..... 35
- الشكل (2.III): اللوح الثابت مع المتتبع الشمسي أحادي المحور في وضعيات مختلفة..... 36
- الشكل (3.III): اللوح الثابت مع المتتبع الشمسي ثنائي المحور..... 36
- الشكل (4.III): جهاز تعقب Suntrix أفقي أحادي المحور (STH) في اليونان..... 37
- الشكل (5.III): موقع الدراسة التجريبية..... 38
- الشكل (6.III): تغير شدة الإشعاع الشمسي ليوم 2023/05/21..... 39
- الشكل (7.III): تغير درجة حرارة المحيط ليوم 2023/05/21..... 39
- الشكل (8.III): مختلف التركيبات المستعملة في التجربة..... 40
- الشكل (9.III): مختلف أجهزة القياس المستعملة..... 41
- الشكل (10.III): تثبيت Thermocouple على الجهة الخلفية للألواح الشمسية..... 42
- الشكل (11.III): تغير درجات الحرارة خلال ساعات النهار ليوم 2023/05/21..... 43
- الشكل (12.III): تغير شدة الإشعاع الشمسي ليوم 2023/05/21..... 44
- الشكل (13.III): طريقة قياس الاستطاعة المنتجة من اللوح الشمسي..... 44
- الشكل (14.III): الاستطاعة الكهربائية المنتجة من الألواح الشمسية..... 46
- الشكل (15.III): نسب التحسين في شدة الإشعاع ليوم 2023/05/21..... 46
- الشكل (16.III): نسب التحسين الاستطاعة الكهربائية المنتجة ليوم 2023/05/21..... 47

## قائمة الجداول

- 41 ..... الجدول (1.III): الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية المستعملة.
- الجدول (2.III): درجة حرارة الألواح الثلاثة مع حرارة المحيط خلال ساعات النهار ليوم  
42 ..... 2023/05/21
- 43 ..... الجدول (3.III): شدة الإشعاع الشمسي على أسطح الألواح الثلاثة ليوم 2023/05/21
- 45 ..... الجدول (4.III): الاستطاعة الكهربائية المنتجة من الألواح الثلاثة ليوم 2023/05/21

## قائمة الرموز

الرمز	التعريف	الوحدة
$I_{ph}$	التيار الضوئي	(A)
$I_0$	تيار التشبع الصمام الثنائي	(A)
n	عامل المثالية لصمام الثنائي	/
$R_s$	المقاومة التسلسلية	( $\Omega$ )
$R_{sh}$	المقاومة التفرعية	( $\Omega$ )
$V_t$	الجهد الحراري	( $J \cdot c^{-1}$ )
k	ثابت بولتزمان	( $J.k^{-1}$ )
q	شحنة الإلكترون	(C)
$T_c$	درجة حرارة الخلية	(K)
$I_{sc}$	تيار الدارة القصيرة	(A)
$V_{co}$	جهد الدارة المفتوحة	(V)
$I_{mp}$	تيار الاعظمي لدارة	(A)
$V_{mp}$	جهد الاعظمي لدارة	(V)
$\eta$	المردود	%
$P_{max}$	الاستطاعة الاعظمية	(w)
A	سطح الألواح الشمسية الكهروضوئية	$m^2$
G	الإشعاع	(W/ $m^2$ )
FF	معامل التعبئة	/
$\alpha$	مساوية لزاوية الارتفاع	درجة
$\gamma$	زاوية السميت	درجة

## قائمة الاختصارات

الكهروضوئية (photovoltaïque)	PV
التيار الكهربائي المستمر	DC
التيار الكهربائي المتناوب	AC
شروط الاختبار القياسية	STC
ظروف الاختبار العادية	NOCT
خاصية الجهد والاستطاعة	P-V
خاصية التيار الكهربائي والجهد	I-V
اللجنة الكهروتقنية الدولية (Commission Electrotechnique Internationale)	IEC

# مقدمة عامة

### مقدمة عامة:

يثير موضوع الطاقة المتجددة اهتمام العديد من الأشخاص نظرًا لاستدامتها وعدم انتهاء مصادرها. تعتمد الطاقة المتجددة على مصادر طبيعية مثل الرياح والماء والشمس، وتتجدد بشكل طبيعي بمرور الوقت. ما يميزها هو نظافتها وصدافتها للبيئة، حيث لا تنتج غازات ضارة ولا تسبب تأثيرًا سلبيًا على البيئة المحيطة بها. ولهذا السبب، ازداد الاهتمام بهذا الموضوع في العقود الأخيرة، حيث تُعتبر بديلاً مستدامًا لمصادر الطاقة التقليدية مثل النفط والغاز [1].

تُعد الطاقة الشمسية واحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة والأكثر نظافة. فمصدرها هو الضوء والحرارة المنبثقان من الشمس. وقد استطاع الإنسان استغلالها واستخدامها في تلبية احتياجاته من خلال تطوير التكنولوجيا. تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية يتم عادةً من خلال استخدام الألواح الشمسية الكهروضوئية [1].

تعتبر الخلايا الشمسية تكنولوجيا مهمة لتحويل الضوء إلى قوة كهربائية. وتعمل بشكل أفضل عندما يتم توجيهها مباشرة نحو أشعة الشمس. وتم تطوير متتبعات الشمس لضمان أن الألواح الشمسية تواجه الشمس في معظم الوقت، وذلك لتحقيق أقصى استفادة من الإشعاع الشمسي. يتم ذلك عن طريق تحريك الألواح الشمسية باتجاه أشعة الشمس أثناء حركتها. ولتحقيق أقصى قدرة ممكنة، يمكن تصميم المتتبع بمحرك لجعل الألواح الشمسية تتحرك مع حركة الشمس [2,3].

يشمل هذا المشروع دراسة تجريبية لتحسين مردود الألواح الشمسية الكهروضوئية باستعمال تقنية تتبع الشمس من خلال المقارنة بين المتتبع أحادي المحور (القطبي) وثنائي المحور بمنطقة سيدي خويلد ولاية ورقلة (جنوب شرق الجزائر).

ولتحقيق هذا الهدف، قمنا بتقسيم هذا العمل إلى ثلاثة فصول:

**الفصل الأول:** ويتناول مفاهيم حول الطاقة الشمسية، مبادئها وتكنولوجياتها.

**الفصل الثاني:** وهو مخصص لدراسة متتبعات الشمس، تاريخها، أنواعها، مبدأ عملها...

**الفصل الثالث:** والذي يتناول الجانب التطبيقي من المذكرة أين سنقوم بعرض ومناقشة النتائج المتحصل عليها في هذه الدراسة.

وفي الأخير، سنختم بحثنا هذا بخاتمة عامة وتوصيات البحث بالإضافة إلى التطلعات المستقبلية.

# الفصل الأول:

عموميات حول الطاقة الشمسية

الكهروضوئية

## 1-I مقدمة:

تُعدّ الطاقة الشمسية واحدة من أهم مصادر الطاقة المتجددة والأكثر توفراً في العالم، إذ تتكوّن من الإشعاعات الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض ويمكن استغلالها في العديد من الأمور المفيدة، مثل توليد الطاقة الكهربائية وإنتاج بعض التفاعلات الكيميائية. وذلك نظراً لأنّ الشمس هي المصدر الرئيسي لها وتبقى موجودة بشكل دائم. وتتميّز الطاقة الشمسية بأنها من مصادر الطاقة النظيفة، إذ لا يشكّل استغلالها أي تهديد أو خطر على البيئة، على عكس بعض المصادر الأخرى للطاقة.

يمكن وصف عملية توليد الطاقة الكهروضوئية على أنها عملية تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية. تتكون ألواح الطاقة الشمسية عادة من العديد من الخلايا الكهروضوئية المصنوعة من مواد نصف ناقلة مثل السليكون، وتشكل دوائر كهربائية. وعندما يتعرض اللوح لأشعة الشمس، يتم تحرير الإلكترونات في الخلايا الكهروضوئية، وتمر عبر الدائرة الكهربائية لتوليد تيار كهربائي [1].

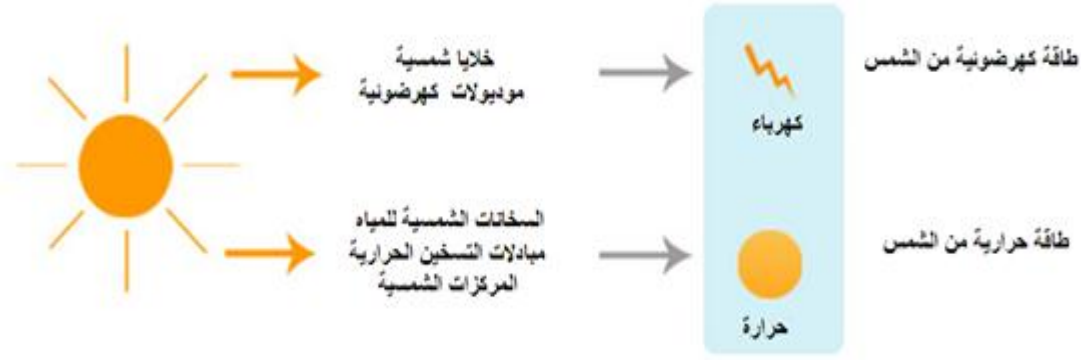
حيث سنتطرق في هذا الفصل إلى مفهوم الشمس والفعل الكهروضوئي وصولاً إلى الألواح الشمسية ومكوناتها وأنواعها ومبدأ عملها وخصائصها الكهربائية.

## 2-I الطاقة الشمسية:

تُعرف الطاقة الشمسية على أنها الطاقة الناتجة عن الإشعاع الحراري والضوء الذي ينبعث من الشمس، ويمكن استخدامها لتدفئة المنازل مباشرةً أو لتوليد الكهرباء باستخدام الفعل الكهروضوئي، من خلال الألواح الشمسية. تعدّ الطاقة الشمسية أحد المصادر المتجددة الأكثر فعالية على سطح الأرض، إذ تستخدم بالإضافة إلى الإشعاع الشمسي، مصادر أخرى للطاقة المتجددة مثل طاقة الرياح وطاقة الأمواج والطاقة الكهرومائية والكتلة الحيوية. ومع ذلك، لا يتم استغلال سوى جزء صغير من الطاقة الشمسية المتاحة في العالم. يتم توليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية بواسطة المحركات الحرارية أو المحولات الكهروضوئية [1].

يتم استخدام طاقة الإشعاع الشمسي بشكل مباشر ورئيسي تحت شكلين أساسيين (لاحظ الشكل

((1.I)).



الشكل (1.1): رسم شكلي الطاقة الشمسية

### I-2-1 الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

تعتمد الطاقة الكهروضوئية على التأثير الكهروضوئي لتوليد تيار كهربائي بشكل مستمر من الإشعاع الكهرومغناطيسي.

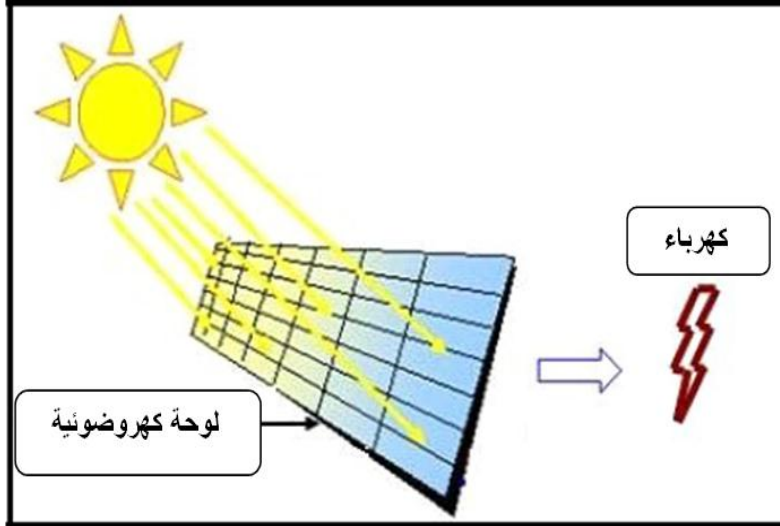
يمكن أن يكون مصدر الضوء هذا طبيعي (شمس) أو اصطناعي (مصباح). يتم التقاط الطاقة الكهروضوئية بواسطة الخلايا الكهروضوئية، أحد المكونات الإلكترونية ينتج الكهرباء عندما يكون معرض للضوء. يمكن توصيل عدة خلايا لتشكيل لوح شمسي كهروضوئي.

تعد الخلية الكهروضوئية مكوناً إلكترونياً يمثل أساس تركيبات إنتاج هذه الطاقة. يعمل على مبدأ التأثير الكهروضوئي [1].

### I-2-2 تحويل الضوء إلى كهرباء:

مصطلح "الكهروضوئية" أو "الفوتوفولطية" غالباً ما يتم اختصاره بـ "PV"، تم تشكيله من الكلمات "فوتو" هي كلمة يونانية تعني النور و"فولتا" اسم الفيزيائي الإيطالي أليس اندرو فولتا الذي اخترع البطارية الكهروكيميائية في عام 1800. التأثير الكهروضوئي هو تحويل الطاقة الشمسية مباشرة إلى كهرباء.

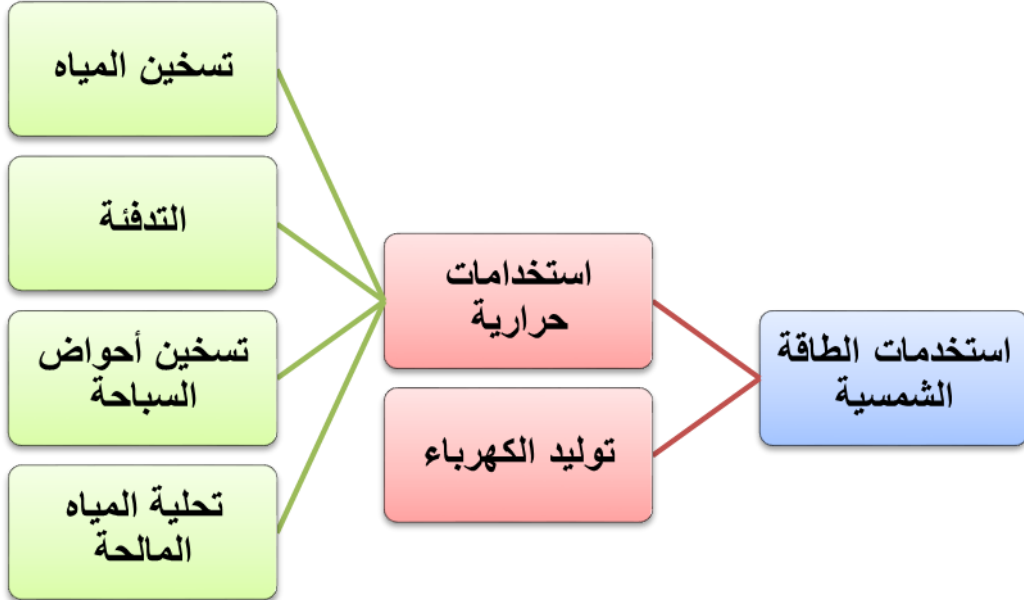
يتم الحصول على الطاقة الكهروضوئية مباشرة من إشعاع الشمس. الوحدات الكهروضوئية المكونة من الخلايا الكهروضوئية القائمة على السيلكون لها القدرة على تحويل الفوتونات إلى إلكترونات. يحدث التحويل الكهروضوئي في مواد أشباه الموصلات. وهكذا تكون الطاقة في شكل تيار كهربائي قابلة للاستخدام مباشرة [1].



الشكل (2.1): تحويل الضوء إلى كهرباء

أنواع الموصلات الكهربائية

- ❖ في عازل كهربائي: ترتبط إلكترونات المادة بالذرات ولا تستطيع التحرك.
- ❖ في موصل كهربائي: (سلك نحاسي على سبيل المثال) تكون الإلكترونات حرة تمامًا في التدوير والسماح بمرور التيار.
- ❖ في أشباه الموصلات: الوضع متوسط، لا يمكن للإلكترونات الموجودة في المادة أن تدور إلا إذا أعطيت طاقة لتحريرها من ذراتها. عندما يخترق الضوء أشباه الموصلات، تجلب هذه الفوتونات طاقة تسمح للإلكترونات بالحركة، وبالتالي هناك تيار كهربائي.



الشكل (3.1): استخدامات الطاقة الشمسية

### I-2-3 التأثير الكهروضوئي:

الخلايا الكهروضوئية هي مجال التكنولوجيا والبحث المتعلق بالأجهزة التي تحول ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء. تصنع الخلايا الشمسية مواد أشباه الموصلات، مثل السيليكون.

إحدى خصائص أشباه الموصلات ما يجعلها مفيدة للغاية هو أنه يمكن بسهولة تغيير الموصلية الخاصة بها إدخال الشوائب في شبكتهم البلورية [1].

### I-3 الألواح الشمسية:

تُعرف الألواح الشمسية على أنها مجموعة من الخلايا الشمسية (PV cells) التي تتصل معًا داخل إطار واحد، وذلك بالتواصل بينها بطريقة التوازي أو التوالي. تعمل هذه الخلايا على تحويل الضوء الساقط من أشعة الشمس إلى فرق جهد يسبب مرور تيار كهربائي في الأسلاك. وعند تجميع مجموعة من الألواح الشمسية معًا في إطار أكبر يُشار إليه باسم "مصفوفة ألواح شمسية". تتكون الألواح الشمسية من مجموعة خلايا شمسية تعمل كمستقبلات لأشعة الشمس، وتتصل ببعضها البعض داخل إطار محدد وتكون موصولة فيما بينها بالتوازي أو التوالي. وتشكل الألواح الشمسية العنصر الأساسي في منظومة الطاقة الشمسية [2].

### I-3-1 طريقة عمل الألواح الشمسية:

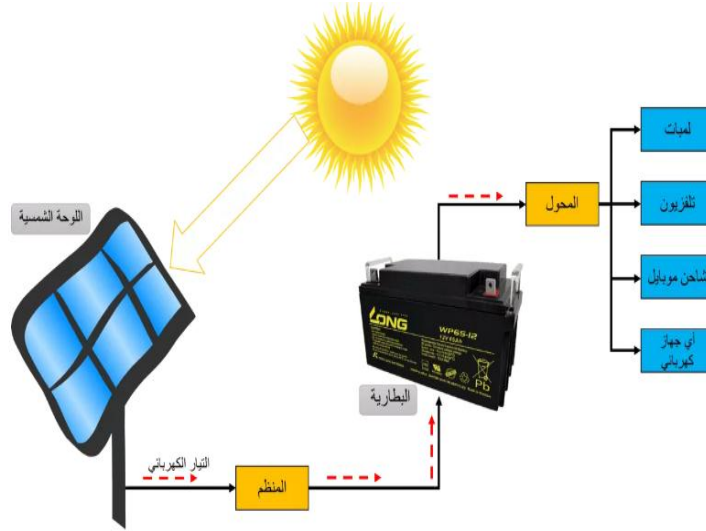
تعتمد الطاقة الشمسية على استخدام الألواح الشمسية، حيث تقوم هذه الألواح بامتصاص أشعة الشمس المباشرة وتحويلها إلى طاقة كهربائية يمكن استخدامها في العديد من الأغراض والمجالات. تتكون الألواح الشمسية من مجموعة من الخلايا الشمسية المصفوفة بجانب بعضها البعض، وتتألف هذه الخلايا من مواد شبه موصلة مثل السيليكون. عند امتصاص الأشعة الشمسية، تتحرك الإلكترونات داخل هذه الخلايا لتشكل حقل كهربائي، وتتجمع هذه الإلكترونات على شكل طاقة كهربائية يمكن استخدامها ككهرباء مباشرة (DC) يتم بعد ذلك تحويل هذه الكهرباء إلى كهرباء متداولة في الحياة اليومية (AC) باستخدام محول يطلق عليه اسم "انفيرتر".

باختصار، تعتمد الطاقة الشمسية على استخدام الألواح الشمسية لتحويل طاقة الشمس إلى طاقة كهربائية يمكن استخدامها في العديد من التطبيقات [3].

تتحول الطاقة الشمسية التي تم امتصاصها بواسطة الألواح الشمسية إلى كهرباء (تيار مباشر)، ويتم توجيه هذه الكهرباء من خلال المنظم إلى البطارية. وظيفة المنظم الأساسية هي التحكم في عملية

شحن البطارية والحفاظ على مستوى مناسب من التيار الكهربائي المخزن فيها. ونظرًا لعدم توقُّر الشمس دائماً، يتعيَّن علينا تخزين الطاقة الكهربائية للاستفادة منها ليلاً، وهذا يتم عن طريق استخدام بطارية مصممة خصيصاً لتخزين الشحنة الكهربائية لفترة أطول.

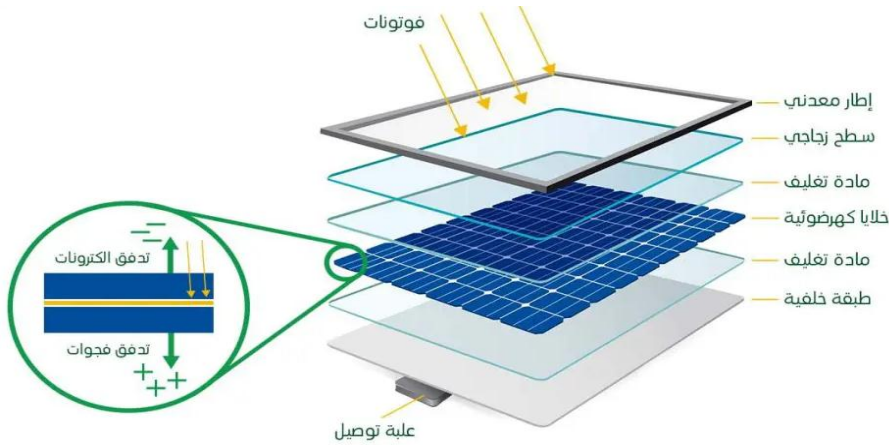
يتم استخدام محول لتحويل الكهرباء من التيار المستمر إلى التيار المتناوب ، الذي تستخدمه معظم الأجهزة الكهربائية المنزلية (بتردد 220V)، وبذلك نحتاج إلى استخدام محول [4].



الشكل (4.I): مكونات منظومة الطاقة الشمسية الكهروضوئية

### I-3-2 مكونات الألواح الشمسية:

تتكون اللوحة الشمسية الكهروضوئية من عدة مكونات، وتشمل:



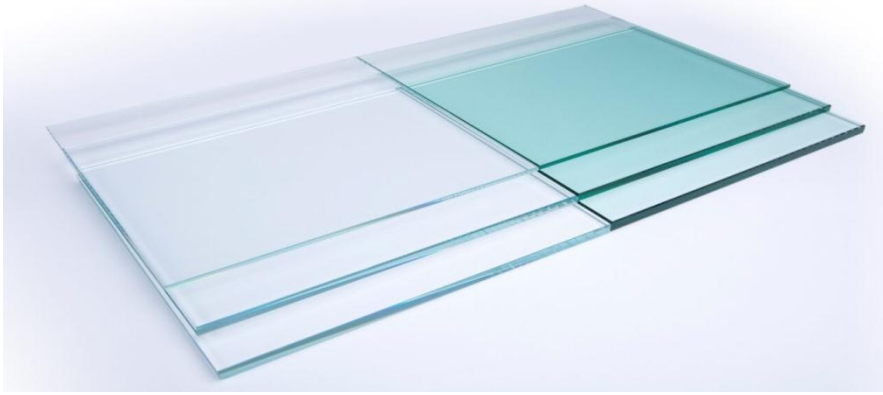
الشكل (5.I): رسم تخطيطي للوحة الطاقة الشمسية

أ) الخلايا الشمسية الكهروضوئية:

تعمل الخلايا الشمسية الكهروضوئية على تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية في شكل تيار مستمر. يتم تصنيع الألواح الشمسية بأنواع مختلفة من الخلايا الشمسية، والتي تختلف في نوع السيليكون المستخدم وخصائصه. يمكن الحصول على مستوى أداء الألواح الشمسية من خلال اختيار الخلية المناسبة، ويتم تصنيع الخلايا بأحجام وتكوينات مختلفة لتوفير مستويات مختلفة من الكفاءة والأداء. يتم توصيل الخلايا الكهروضوئية ببعضها البعض من خلال جهات اتصال كهربائية، والتي تتيح للتيار الكهربائي التدفق عبر جميع الخلايا في الدائرة [5].

ب) الزجاج:

تحمي الزجاج الأمامية للوحة الشمسية الخلايا الكهروضوئية من الظروف الجوية وتأثير العوامل الخارجية مثل الحطام أو البرد المحمول جواً. ويتم تصميم الزجاج بسمك يتراوح بين 3.0 إلى 4.0 mm، وبقوة عالية ليتحمل التغيرات الحرارية والأحمال الميكانيكية. وتستخدم معظم شركات التصنيع زجاج عالي النفاذية وذو محتوى منخفض للغاية من الحديد، ويتم طلاؤه بمادة مضادة للانعكاس على الجانب الخلفي للوحة الشمسية، لتحسين كفاءتها وأدائها وتقليل الخسائر وتحسين نقل الضوء [5].



الشكل (6.I): زجاج اللوح الكهروضوئي

ت) هيكل من الألمونيوم:

يتم استخدام إطار الألمنيوم لحماية حواف القسم المصفح وتوفير هيكل صلب لتركيب الألواح الشمسية. يمكن أن يكون الإطار الألمونيوم فضي أو أسود مؤكسد، وتختلف مستويات القوة والصلابة بناءً على طريقة ربط الأقسام الزاوية معاً، سواء بالضغط أو التثبيت. يعد إطار الألمنيوم جزءاً أساسياً من أنظمة الطاقة الشمسية المستخدمة في العديد من التطبيقات [5].



الشكل (7.I) : هيكل من الألومنيوم

**ث) طبقات فيلم EVA:**

تعني **EVA** اسم "أسيتات فينيل الإيثيلين" وهي طبقة بوليمر شفافة مصممة لتغليف الخلايا الشمسية وتثبيتها في مكانها أثناء التصنيع. يمكن أن يكون فيلم **EVA** ذو جودة عالية مع درجة عالية من الربط المتقاطع، مما يؤدي إلى زيادة عمر اللوحة الشمسية وتقليل خطر فشلها بسبب دخول الماء. خلال عملية التصنيع، يتم تغليف الخلايا الشمسية بطبقة **EVA** ثم تجميعها داخل الزجاج والصفائح الخلفية [5].



الشكل (8.I) : فيلم EVA في اللوح الشمسي

**ج) لوح خلفي:**

تشكل الطبقة الخلفية الجزء الخلفي الأساسي من الألواح الشمسية وتعمل كحاجز ضد الرطوبة والعوامل الخارجية لتوفير الحماية الميكانيكية والعزل الكهربائي. تصنع مادة اللوح الخلفي من مجموعة متنوعة من البوليمرات والمواد البلاستيكية مثل **PP** و **PET** و **PVF**، والتي توفر مستويات مختلفة من الحماية والاستقرار الحراري ومقاومة الأشعة فوق البنفسجية على المدى الطويل [5].

ح) صندوق التوصيلات:

يشير صندوق التوصيل إلى حاوية صغيرة ومقاومة للطقس تثبت على الجانب الخلفي من اللوح الشمسي. يتم استخدامه لتوصيل الكابلات بشكل آمن لربط الألواح الشمسية مع بعضها البعض. يعتبر صندوق التوصيل مهمًا جدًا، حيث يشكل النقطة المركزية التي تتصل من خلالها جميع الخلايا ببعضها البعض، ولذا يجب حمايتها من العوامل الخارجية مثل الرطوبة والأوساخ لضمان سلامة التوصيل [5].



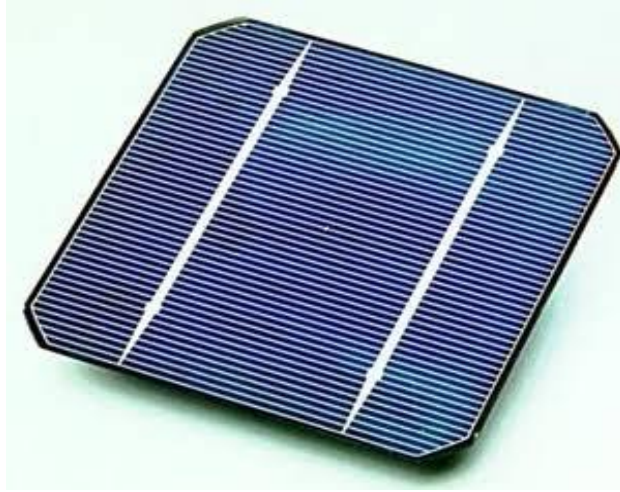
الشكل (9.I): صندوق التوصيلات في اللوح الشمسي

I-3-2 الخلية الكهروضوئية PV:

اكتشف أنطوان بيكريل عام 1839، التأثير الكهروضوئي الذي يسمح بتحويل الطاقة الضوئية إلى كهرباء. يعتمد هذا المبدأ على تقنية أشباه الموصلات يتكون من استخدام الفوتونات لتحرير الإلكترونات ويخلق فرق الجهد بين طرفي الخلية الذي يولد تيارًا كهربائيًا مباشرًا، والخلية الكهروضوئية، أو الخلية الشمسية، هي مكون إلكتروني ينتج الكهرباء، عند تعرضه للضوء، بفضل التأثير الكهروضوئي [19].

تناسب الطاقة الكهربائية التي يتم الحصول عليها مع طاقة الضوء الساقط وتعتمد على كفاءة الخلية. يوفر هذا جهدًا للتيار المستمر ويمر عبره بمجرد توصيله بحمل كهربائي (عادة ما يكون عاكسًا، وأحيانًا بطارية كهربائية بسيطة).

الخلية الشمسية هي وحدة توفر كمية معينة من الطاقة الكهربائية تتميز بجهد خرج وتيار.



الشكل (10.I) : خلية شمسية

### I-3-3 أنواع الخلايا الكهروضوئية:

#### أ) خلايا متعددة الوصلات:

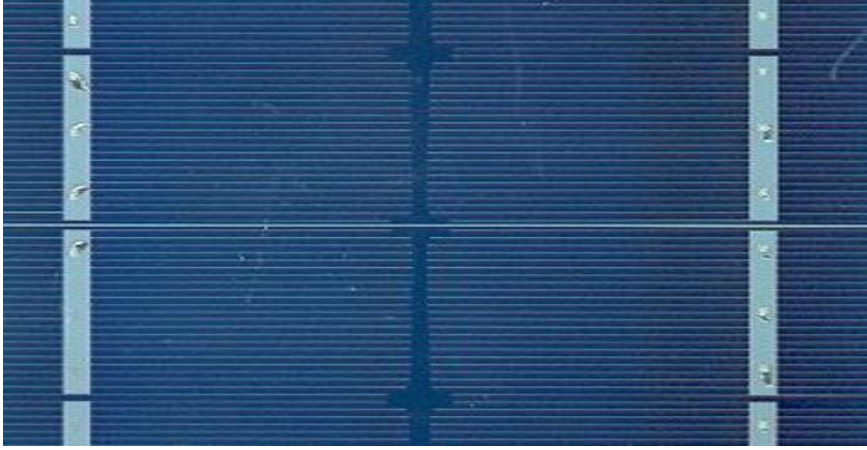
تتكون الخلايا متعددة الوصلات من طبقات مختلفة تقوم بتحويل أجزاء مختلفة من الطيف الشمسي وبالتالي الحصول على أفضل عوائد التحويل.



الشكل (11.I): خلية كهروضوئية متعددة الوصلات

#### ب) خلايا من السيليكون أحادية البلورة:

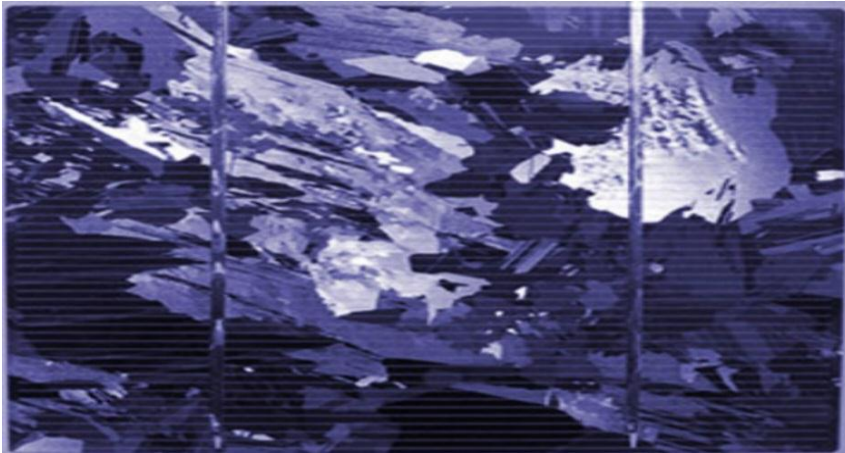
أثناء التبريد، يصلب السيليكون المصهور، ويشكل بلورة كبيرة واحدة. ثم يتم قطع الكريستال إلى شرائح رقيقة والتي ستشكل الخلايا. هذه الخلايا عادة ما تكون زرقاء موحدة [6].



الشكل (12.I): خلية كهروضوئية أحادية البلورة

(ت) خلايا من السيليكون متعددة البلورات:

أثناء تبريد السيليكون، يتم تشكيل العديد من البلورات. هذا النوع من الخلايا أزرق أيضاً، ولكنه غير منتظم، وهناك أنماط تم إنشاؤها بواسطة بلورات مختلفة. كفاءة التحويل جيدة، ولكن أقل قليلاً من أحادي البلورية.



الشكل (13.I): خلية كهر وضوئية متعددة البلورة

(ث) خلية خالية من السيليكون في طبقة رقيقة (CIS):

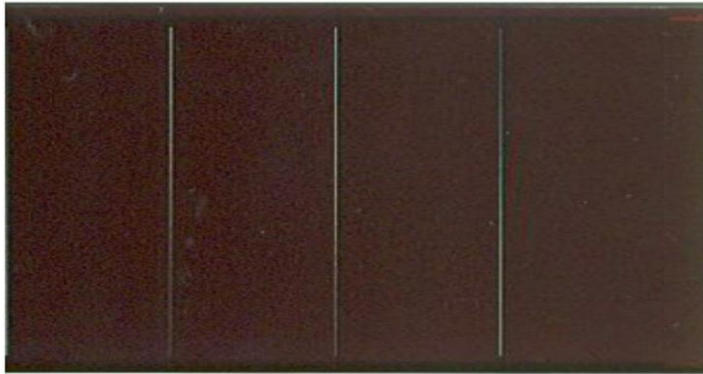
تمثل هذه الخلايا (CIS) الجيل الجديد من الخلايا الشمسية في شكل أغشية رقيقة، من نوع السيلينيوم النحاسي. المواد الخام اللازمة لتصنيعها أسهل في الحصول عليها من السيليكون المستخدم في الخلايا الضوئية التقليدية. بالإضافة إلى ذلك، تعتبر كفاءة تحويل الطاقة هي الأعلى حتى الآن بالنسبة للخلايا الكهروضوئية ذات الأغشية الرقيقة [6].



الشكل (14.I): الخلايا الضوئية من نوع النحاس - الإنديوم - السيلينيوم (CIS)

### ج) خلايا من السيليكون غير المتبلور:

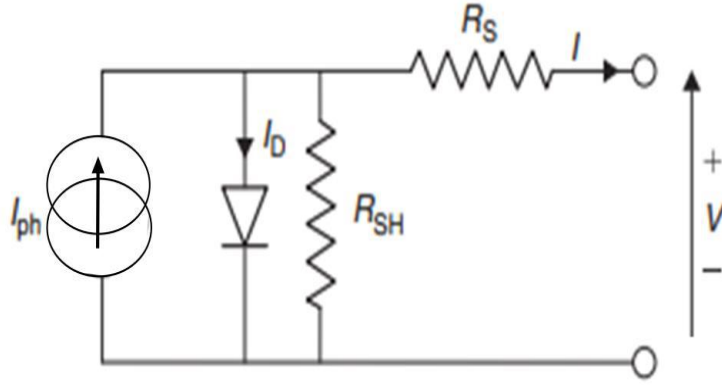
ينتج السيليكون أثناء تحوله غازًا حيث يتم إسقاطه على لوح زجاجي، وتكون خلية السيليكون رمادية اللون بلون غامق أو بني. هذا النوع من الخلايا هو الأكثر استخدامًا ولكنه أيضًا الأكثر تكلفة، إنه خلية الآلات الحاسبة وما يسمى بالساعات "الشمسية" [6].



الشكل (15.I): خلية كهروضوئية غير متبلورة

### 4-I نموذج مكافئ كهربائي للخلية الكهروضوئية:

يمكن نمذجة الخلية الكهروضوئية من خلال الرسم البياني المكافئ الأكثر اكتمالاً (نموذج مع الصمام الثنائي) الذي يبينه الشكل (16.I).



الشكل (16.I) : الشكل المكافئ الكهربائي للخلية الكهروضوئية

يتم إعطاء معادلة خاصية (التيار - الجهد)  $I - V$  من خلال:

$$I = I_{ph} - I_0 \times \left[ e^{\frac{V+R_s \times I}{n \times V_t}} - 1 \right] - \frac{V_t + R_s \times I}{R_{sh}} \quad (1.I)$$

حيث  $I_{ph}$  هو التيار الضوئي (A)

$I_0$  هو تيار تشبع الصمام الثنائي (A)

$n$  هو عامل المثالية للديود

$R_s$  هي مقاومة السلسلة ( $\Omega$ )

$R_{sh}$  هي مقاومة التحويل ( $\Omega$ )

$$V_t \text{ هو الجهد الحراري } V_t = \frac{k \cdot T}{q} \text{ (J} \cdot \text{c}^{-1}\text{)}$$

$k$  هو ثابت بولتزمان ( $1.38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ )

$q$  هو حمل الإلكترون ( $1.302 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

$T$  هي درجة حرارة الخلية (K) [14].

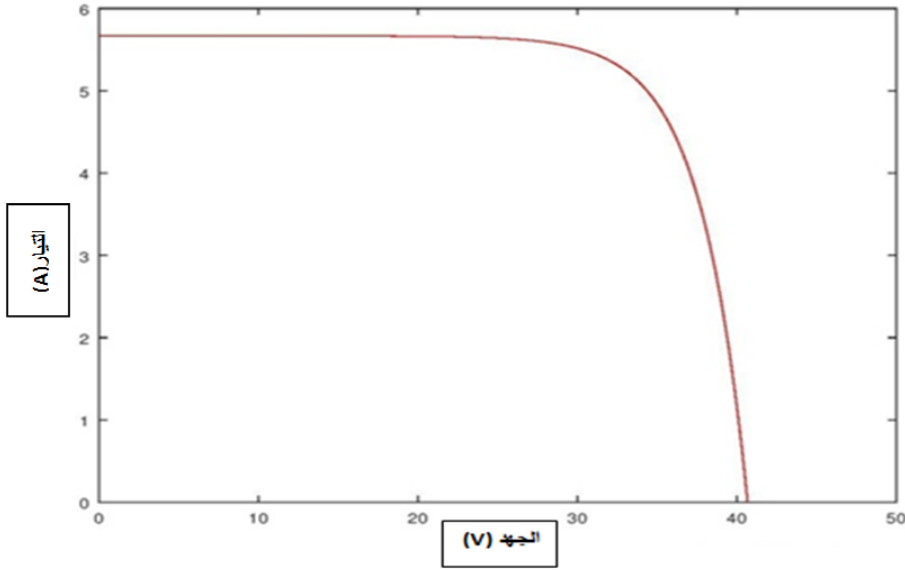
### 5-I خصائص الوحدة الكهروضوئية:

وفقاً لـ IEC 61277، فإن الوحدة الكهروضوئية (لوحة) هي التوصيل البيني للعديد من الخلايا

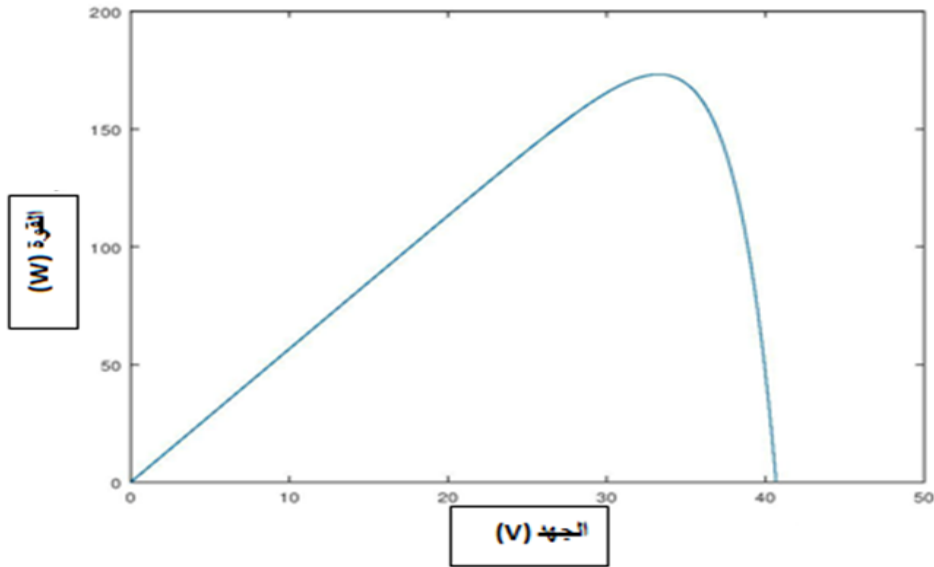
الكهروضوئية.

تمثل خاصية (I-V) وخاصية (P-V) للوحدة الكهروضوئية سلوكها فيما يتعلق بالأحمال المحتملة في ظل ظروف الشمس ودرجة الحرارة المختلفة. ومن أهم الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية الكهروضوئية نجد:

- ✚ تيار الدائرة القصيرة **ISC** هو التيار الذي تنتجه الخلية عندما يكون الجهد عبر أطرافها صفرًا.
- ✚ جهد الدائرة المفتوحة **V<sub>co</sub>** هو الجهد الذي يظهر عند أطراف الخلية عندما يكون التيار الكهربائي صفرًا.
- ✚ التيار **I<sub>mp</sub>** والجهد **V<sub>mp</sub>** المطابقين لنقطة الاستطاعة القصوى [14].



الشكل (17.I): منحنى خاصية (I-V)



الشكل (18.I): منحنى خاصية (P-V)

يتم تحديد كفاءة الطاقة  $\eta$  للوحة الشمسية الكهروضوئية من خلال النسبة بين الطاقة الكهربائية القصوى المنتجة والطاقة الشمسية الممتصة. يمكن التعبير عنها من خلال:

$$\eta = \frac{P_{max}}{G \cdot A'} \quad (I.2)$$

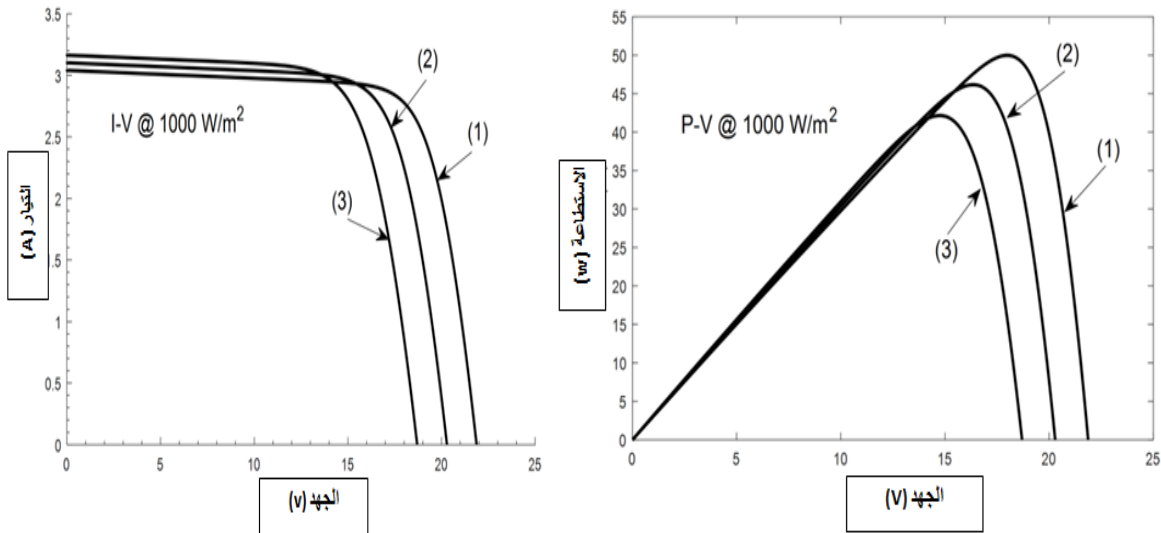
حيث  $P_{max}$  هي الطاقة القصوى التي توفرها الوحدة الكهروضوئية (W)،  $G$  هو شدة الإشعاع الشمسي ( $W/m^2$ ) و  $A$  هي مساحة سطح الألواح الشمسية الكهروضوئية ( $m^2$ ).

يشير

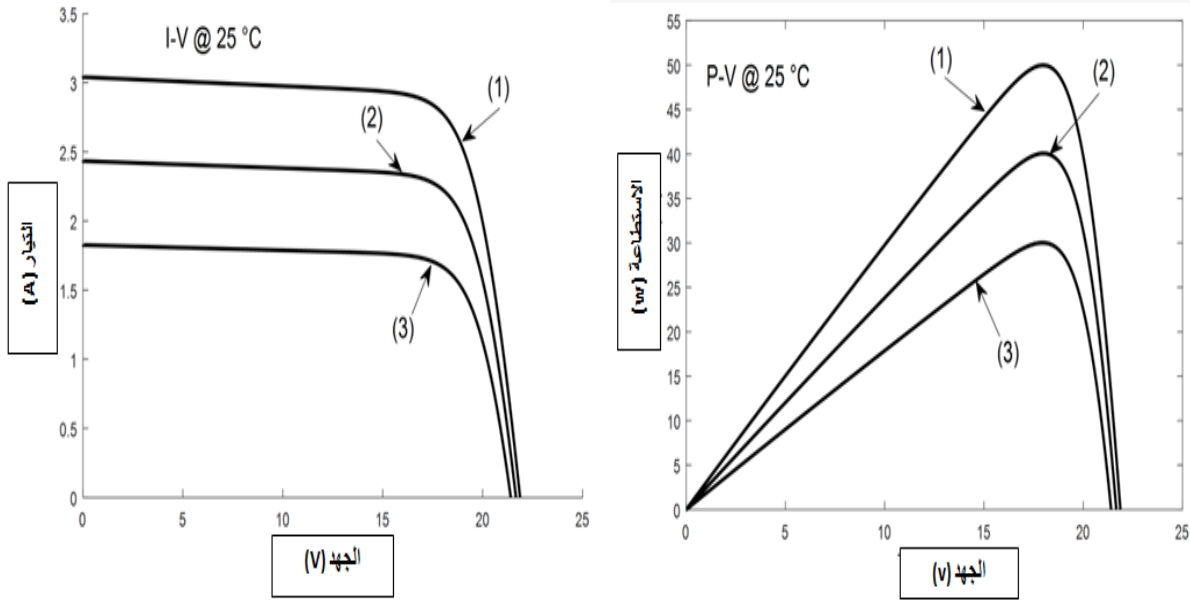
عامل الشكل  $FF$  إلى درجة مثالية خاصة  $I-V$ . إنها النسبة بين الطاقة الكهربائية القصوى التي توفرها الوحدة الكهروضوئية واستطاعتها المثالية المنتجة. يتم التعبير عنها بالعلاقة التالية  $FF$ :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (I.3)$$

توفر بعض الشركات المصنعة للألواح الشمسية الكهروضوئية هذه الخصائص في ظروف الاختبار القياسية (STC) تحت شدة إضاءة تساوي  $1000 W/m^2$  ودرجة حرارة الخلية تساوي  $25^\circ C$ ، أو في ظروف الاختبار الاسمية (NOCT)، في هذا تكون الإضاءة  $800 W/m^2$  ودرجة حرارة الخلية  $20^\circ C$  بسرعة رياح تساوي  $1 m/s$  [14].



الشكل (19.I): تأثير درجة الحرارة على الخصائص الكهربائية (1)  $25^\circ C$ ، (2)  $45^\circ C$ ، (3)  $65^\circ C$



الشكل (20.I): تأثير الإضاءة على الخصائص الكهربائية (1)  $1000 \text{ W/m}^2$ , (2)  $800 \text{ W/m}^2$ , (3)  $600 \text{ W/m}^2$

### I-5-1 خصائص التيار والجهد والاستطاعة للخلية الكهروضوئية:

عندما تتولد الطاقة الكهربائية من الخلية الكهروضوئية، تكون بشكل تيار مستمر (DC) وتتأثر شدة هذا التيار بعدة عوامل، أهمها شدة الأشعة الشمسية الساقطة والتيار والجهد المطلوب للحمل.

يتم قياس مردود اللوح الكهروضوئي على أساس مردود خلاياه، حيث تُعرف الخلية الشمسية ذات المساحة  $100 \text{ cm}^2$  بأنها بطارية شمسية تُنتج فولتية مقدارها  $0.5 \text{ V}$  والتيار يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي ويصل إلى ما بين  $3 - 5 \text{ A}$  في حالة شدة الإشعاع الشمسي القصوى [1].

يحدد أداء الخلية الكهروضوئية بفرق جهد دارتها المفتوحة والتيار دارتها المغلقة فرق جهد الدارة المفتوحة هو الجهد الذي يولده الخلية الكهروضوئية عندما لا يمر في الدارة أي تيار، ويتوافق هذا الجهد مع أعلى قيمة فولتية يمكن الحصول عليها من الخلية. والتيار الدارة المغلقة هو التيار الذي يمر في الخلية الكهروضوئية إلى دائرة خارجية بدون حمل أو مقاومة، وهو التيار الأعظمي الذي يمكن للخلية الكهروضوئية إنتاجه من الإشعاع الشمسي ويُعرف باسم "تيار القصر" [15].

### I-5-2 تجمع الألواح الكهروضوئية على التسلسل:

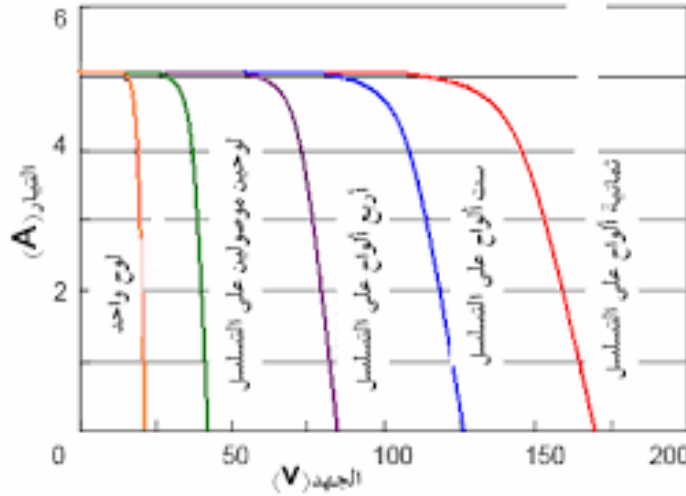
إذا كان عدد الألواح المتصلة على التسلسل هي  $n$  وكل لوح ينتج فولتية تساوي  $V$ ، فإن فرق جهد الدائرة المفتوحة يساوي  $n \times V$  [15]

$$V_{sg} = V = n \times V_{oc1} = n \times V_{oc2} = n \times V_{oc3} = \dots = n \times V_{ocn}$$

$$\rightarrow (I = 0) \quad (I.4)$$

أما عندما يكون التيار ( $I > 0$ ) أي عند وجود حمل كهربائي فان:

$$V_{sg} = \sum V_n = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n \rightarrow (I > 0) \quad (I.5)$$



الشكل (21.I): الخاصية المثالية لـ (n) لوح شمسي متماثل مربوط على التسلسل

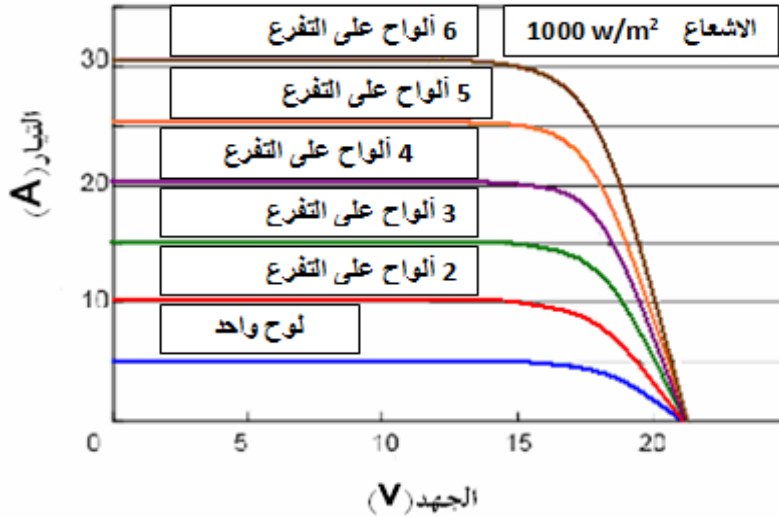
### I-5-3 تجمع الألواح الكهروضوئية على التفرع:

في حالة ربط عدد (n) من الألواح الشمسية المتماثلة على التفرع، فإن الفولت الناتج يساوي الفولت للوحدة الفردية. ويتم توصيل التيار الناتج عن طريق جمع التيارات الخاصة بكل لوح في دائرة واحدة، ويكون التيار الناتج يساوي مجموع التيارات الخاصة بكل لوح [15].

وبالتالي، يمكن تعبير عن الفولت الناتج (V) والتيار الناتج (I) في هذه الحالة بالصيغ التالية:

$$I_{sg} = \sum I_n = I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n \dots \quad (I.6)$$

$$V_{sg} = \sum V_n = V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_n \dots \quad (I.7)$$



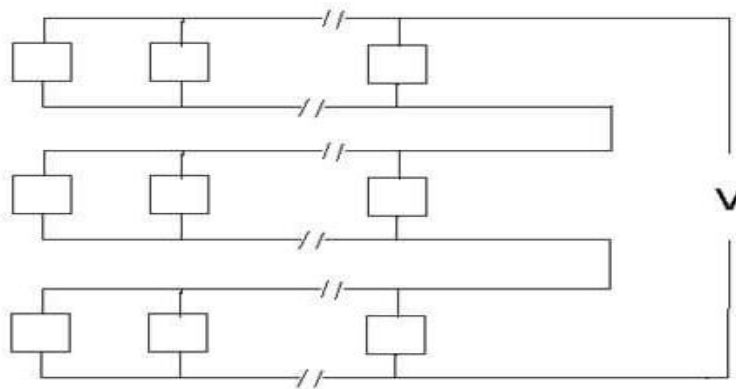
الشكل (22.I): الخاصية المثالية للألواح الكهروضوئية المربوطة علي التفرع

#### I-4-5 تجميع الخلايا على التسلسل وعلى التفرع:

للحصول على قدرة أكبر يتم تجميع الخلايا على التفرع والتسلسل في وقت واحد، فعند ربط الخلايا بهذه الطريقة، يتم تحقيق ميزات الوصل التفرعي والوصل التسلسلي في نفس الوقت، مما يؤدي إلى زيادة التوتر الكهربائي الناتج والتيار الكهربائي الناتج. ويتم التوصيل عادةً على النحو التالي:

- يتم تجميع الخلايا على التفرع لزيادة التيار الكهربائي.
- يتم توصيل المجموعات الناتجة عن التفرع على التسلسل لزيادة التوتر الكهربائي.

وبهذه الطريقة، يمكن الحصول على قدرة أكبر من الخلايا الشمسية المتصلة سواء على التفرع أو التسلسل بشكل منفرد. وتستخدم هذه الطريقة عادة في أنظمة الطاقة الشمسية الكبيرة لتوليد الطاقة الكهربائية ويكون التوصيل كما في المخطط المبين في الشكل (23.I).



الشكل (23.I): مخطط تجميع الخلايا على التسلسل وعلى التفرع

يتم توصيل كل مجموعة من الخلايا على التفرع، ثم توصيل هذه المجموعة على التسلسل مع مجموعة أخرى من الخلايا، وبدورها توصل مع مجموعة أخرى، ويتم توصيل الطرفين النهائيين إلى الحمل. وبطريقة أخرى، يمكن توصيل كل مجموعة على التسلسل، ثم توصيل المجموعات على التفرع مع بعضها. وفي كلا الحالتين، يجب أن تكون الخلايا من نفس النوع ومتساوية في شدة التيار والتوتر والاستطاعة. ويتم بهذه الطريقة الحصول على تيار كبير وتوتر مرتفع، مما يزيد من قدرة النظام على إنتاج الطاقة الكهربائية [15].

## 6-I الجوانب الايجابية والسلبية لاستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية:

### 1-6-I الجوانب الإيجابية:

- ✓ الطاقة الشمسية متجددة وغير مستنفذة وصديقة للبيئة.
- ✓ لا يوجد أي ضوضاء عند استخدام الطاقة الشمسية.
- ✓ يمكن استخدام الطاقة الشمسية في أي مكان يتوفر فيه ضوء الشمس.
- ✓ تدوم أنظمة الطاقة الشمسية لفترات طويلة، حيث تظل فعاليتها لمدة تتراوح بين 20 إلى 30 عاما [16].

### 2-6-I الجوانب السلبية:

- ✓ لا يمكن إنتاج الطاقة عند انعدام الأشعة الشمسية، مثل الأيام الغائمة، الأمطار، وسقوط الثلوج.
- ✓ لا يمكن إنتاج الطاقة في الليل.
- ✓ يحدث تدهور كفاءة الألواح الشمسية مع مرور الوقت.
- ✓ تكافة إنتاج الألواح الشمسية مرتفعة، مما يجعل من الصعب توسيع استخدام الطاقة الشمسية [16].

7-I خاتمة:

قدمنا في هذا الفصل معلومات عامة عن التكنولوجيا الكهروضوئية. يمكن لتقنيات الكهروضوئية الحالية أن تحول الإشعاع الشمسي مباشرة إلى كهرباء بمعدل تحويل يبلغ حوالي 15%.

يعتمد تحسين كفاءة الأنظمة الكهروضوئية على الإشعاع الذي تمتصه الألواح الشمسية، ولكي يكون الإشعاع الشمسي متعامداً على الألواح الشمسية، من الضروري استخدام تقنية تتبع الشمس. لهذا الغرض، سنقوم في الفصل التالي بدراسة أنظمة التتبع "تتبع الطاقة الشمسية" لتحقيق أقصى قدر طاقة أي التي تنتجها الخلايا الكهروضوئية.

# الفصل الثاني:

متتبعات الشمس

### 1-II مقدمة:

يعد استغلال الأنظمة مثل أجهزة التعقب بالطاقة الشمسية حلاً أفضل يأتي ليتم تطبيقها كبديل للأداء الضعيف للألواح الثابتة.

يتطلب الأداء السليم لجهاز تعقب الطاقة الشمسية استمراراً لمسار الشمس من شروق الشمس إلى غروبها عن طريق دراسة فلكية؛ تم إجراء هذه الدراسة باستخدام الكميات المتعلقة بحركة الشمس فيما يتعلق بموقع الكرة الأرضية ممثلة في الكرة السماوية، (أساس نظام الإحداثيات المستخدم لتحديد مواقع النجوم).

ونظراً لأن إنتاج الطاقة من المصادر المتجددة يعد أحد بدائل الحل الذي يمكن الاعتماد عليه خاصة وأن معظم هذه الدول تقع في نطاق الحزام الشمسي ولديها أرض منبسطة غير مستغلة، فإن مؤشرات توليد الطاقة الكهربائية باستخدام المتتبعات الشمسية يمكن أن تكون أحد هذه البدائل. [21].

حيث سنتطرق في هذا الفصل إلى مفهوم متتبعات الشمس وتاريخها وأنواعها ومبدأ عملها.

### 2-II تقنية المتتبع الشمسي:

على الرغم من أن الطاقة الشمسية غير المحدودة، فإن الاستفادة منها يعد تحدياً رئيسياً بسبب ضعف كفاءة الألواح. توضح الأعمال الحديثة أنه تم اقتراح أنواع مختلفة من المنهجية لتحسين كفاءة الألواح الشمسية. معظم تركيبات الألواح التي تتم في بلدنا كلها مصفوفات ثابتة. مع مرور اليوم، تتحرك الشمس بعيداً عن الموضع المواجه للوحة، وبالتالي تنخفض كفاءة الطاقة للوحة. أسهل طريقة للتغلب على هذه المشكلة هي تكييف لوحة شمسية متحركة باستخدام آلية تتبع أشعة الشمس. لقد اعتمد هذا النظام لتحسين كفاءة تطبيقات الخلايا الضوئية في العديد من البلدان المتقدمة، يتم بالفعل استخدام أجهزة تتبع الطاقة الشمسية تجارياً [7].

### 3-II المتتبع الشمسي:

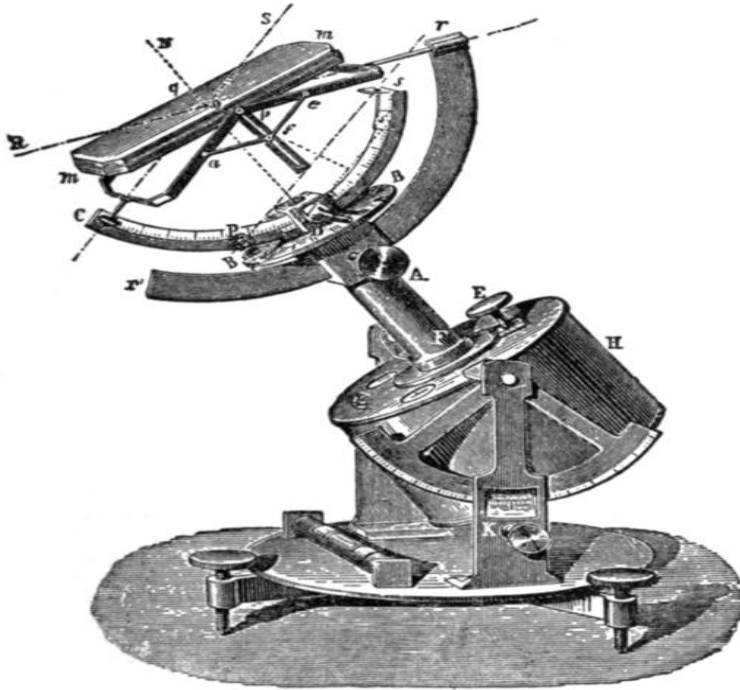
المتتبع، أو نظام تتبع الطاقة الشمسية، هو جهاز يسمح لتتبع الشمس وفقاً لمبدأ Heliostat. هذا الجهاز الداعم بمحركات يوجه الألواح الشمسية لزيادة إنتاجيتها لأنه مثالي لإنتاج أقصى قدر من الطاقة، يجب أن يكون للوحة الكهروضوئية سطح اللاقط عمودياً على الأشعة الشمسية [8].

يهدف النظام إلى توجيه أجهزة الاستشعار في الوقت الحقيقي نحو الشمس، لوضع اللوحة في وضع مثالي فيما يتعلق بحدوث الإشعاع الشمسي (عمودياً على الإشعاع إن أمكن)، لأنه على مدار اليوم والوقت في العام (حسب الموسم) يختلف وضع الشمس باستمرار وبطريقة مختلفة حسب خط العرض. هذا التكيف في الوقت الحقيقي له تأثير في زيادة كبيرة في النقاط وإنتاج الطاقة.

يمكن أن يتم ذلك على محورين: في السميت (من الشرق إلى الغرب، مع تقدم اليوم) وفي الارتفاع (اعتماداً على الموسم، ومرة أخرى تقدم اليوم). المثالي هو استخدام متعقب ذو محورين، ولكنه موجود أيضاً مع محور واحد فقط (عادةً ما يكون متابعاً فقط في السميت والزاوية بالنسبة للأرض يتم تثبيتها وفقاً للأفضل المحلي، الذي يعتمد على خط العرض).

\* تاريخ استعمال أول متتبع شمسي:

ترجع التطبيقات الأولى من متتبعات الطاقة الشمسية إلى خمسينيات القرن الثامن عشر عندما كان المبدأ يعتمد على استخدام Héliostat. يتم ضمان دوران مرآة من خلال آلية تعمل على مدار الساعة وتوجد أقدم إشارة لهذا النظام في المنشورات التي يرجع تاريخها إلى عام 1742 من عالم الفيزياء الهولندي [Wilhelm Jacobs Gravesande] [9].



الشكل (1.II): نموذج لـ Héliostat في أولى استخداماته

يحدد حقل heliostats حركة الشمس عن طريق دمج أشعة الضوء في اتجاه نفس النقطة، وبالتالي تركيز الضوء الحادث باستخدام مرايا الانعكاس طوال اليوم. تم العثور على هذا الأخير في المنشآت المختلفة باستخدام الطاقة الشمسية، ولا سيما محطات الطاقة الشمسية المركزة والتي تسمى حقول heliostats [9].

## 4-II أنواع المتتبعات الشمسية:

هناك عدة آليات لتصنيف المتتبعات الشمسية نذكر منها:

### 1-4-II حسب آلية التوجيه:

#### 1-1-4-II متتبع شمسي نشط:

تستخدم متتبعات الطاقة الشمسية النشطة مبدأ الكشف عن الضوء، بإتباع المسار الشمسي، ويتم السعي إلى تحسين زاوية ورود الإشعاع الشمسي على سطحها إلى أقصى حد ممكن.

هناك نوعان من هذه المتتبعات : أجهزة تتبع المحور الواحد والمحور المزدوج.

ميزة هذه مقارنة بالمتتبع السلبي هو أنها تمثل دقة تتبع أفضل ولا تتطلب أي تدخل يدوي

لضبطها [12].



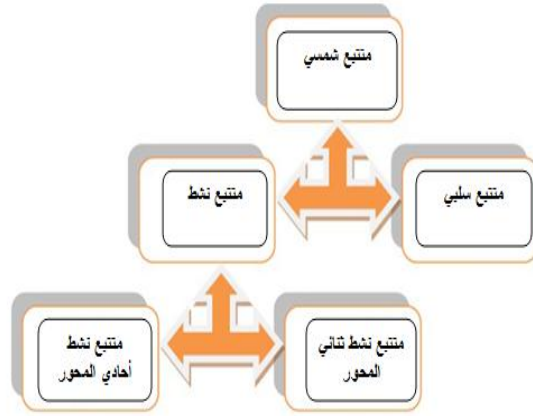
الشكل (II. 2): متتبع شمسي بآلية التحكم الإيجابي (النشط)

#### 2-1-4-II متتبع شمسي غير نشط (سلبي):

يتكون النوع الأول من أجهزة التتبع السلبي في بنيته من أنابيب نحاسية مثبتة على الجانبين

الشرقي والغربي للوحة الكهروضوئية. الأنابيب النحاسي مليء بالسوائل الكيميائية القادرة على التبخر في

درجات حرارة منخفضة. عندما يزيد التعرض للإشعاع الشمسي من درجة الحرارة على جانب واحد من اللوحة، يتبخر المركب الموجود في الأنبوب النحاسي. يحتل الجزء الغازي من المركب حجمًا داخليًا أكبر، ويتم تحريك الجزء السائل نحو الجانب المظلل. تقوم عملية النقل الجماعي هذه بضبط توازن اللوحة الكهروضوئية عن طريق تدويرها باتجاه مصدر أشعة الشمس. هذا النوع لا يستهلك أي طاقة لإعادة وضع اللوحة [11].



الشكل (3.II): متتبع شمسي بآلية التحكم السلبي

## II-4-2 حسب درجة حرية الحركة:

### II-4-2-1 متتبع شمسي ذو محور أفقي:

في هذا النوع من نظام التعقب، يتم دعم أنبوب أفقي طويل على المحمل المركب على الأنبوب وسيتم تدوير الأنبوب على المحور لتتبع الحركة الواضحة للشمس خلال اليوم. نظرًا لأنها لا تميل نحو خط الاستواء، فهي بالتالي ليست فعالة إلى حد كبير خلال فصل الشتاء في منتصف النهار (ما لم تكن موجودة بالقرب من خط الاستواء)، ولكن نظام التتبع هذا يكون مثيرًا للغاية خلال فصل الربيع والصيف عندما يكون المسار الشمسي مرتفعًا في السماء.

يتمتع متتبع الطاقة الشمسية ذو المحور الأفقي، حتى لو كانت كفاءته ضعيفة، بميزة كونه متينًا للغاية من حيث هيكله، وهو هيكلي له آلية بسيطة [11].



الشكل (4.II): متبعت شمسي ذو محور أفقي

#### II-4-2-2 متبعت شمسي ذو محور عمودي:

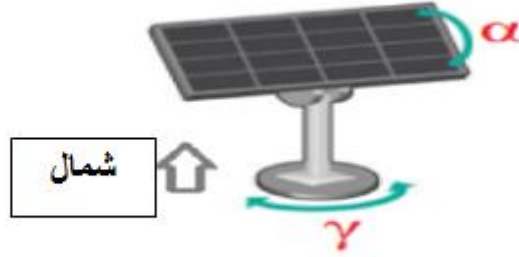
في هذا النوع من نظام التتبع، تُركب اللوحات على محور عمودي بزوايا ارتفاع ثابتة أو قابلة للتعديل أو متبعدة. إن أجهزة التتبع هذه ذات الزوايا الثابتة أو القابلة للتعديل بشكل موسمي مناسبة للارتفاعات العالية. هذا لأن المسار الشمسي الظاهر في خطوط العرض العليا ليس مرتفعًا بشكل خاص ولكنه يؤدي إلى أيام طويلة في الصيف، حيث تنتقل الشمس عبر قوس طويل [11].



الشكل (5.II): متبعت شمسي ذو محور عمودي

### II-4-2-3 متتبع شمسي ثنائي المحور (ارتفاع/سمت):

تكمن الفكرة في تدوير المحور حول الذروة بزواوية الدوران إلى زاوية سمت  $\gamma$ . بينما يكون المحور الآخر موازٍ لسطح الأرض ويدور بزواوية دوران مساوية لزواوية الارتفاع  $\alpha$  [10].



الشكل (6.II): متتبع شمسي ثنائي محور الدوران

تستخدم المتتبعات (الارتفاع/السمت) بيانات أو خوارزميات فلكية للشمس لتحديد موضع الشمس خلال أي وقت ومكان معينين. يتم إدخال مكان وتاريخ ووقت تعقب بواسطة متحكم لإصلاح موقف الشمس. أو يحتاج جهاز استشعار لأشعة الشمس للتحكم في المحركات التي توجه الألواح نحو الشمس [10].

في المتتبع الشمسي ثنائي المحور، يكون المحور الأول هو عمود المحور الرأسي أو حامل الحلقة الأفقي الذي يسمح للجهاز بالتحول إلى نقطة البوصلة. المحور الثاني هو محور ارتفاع أفقي مركب على منصة سمت. باستخدام هذا المزيج من المحورين، يمكن الإشارة إلى أي مكان في نصف الكرة العلوي [23].

**ملاحظة:** سمت (Azimut) ويقصد به الزاوية بين مستوي مرجعي ونقطة، غالباً ما يقاس بالدرجة.

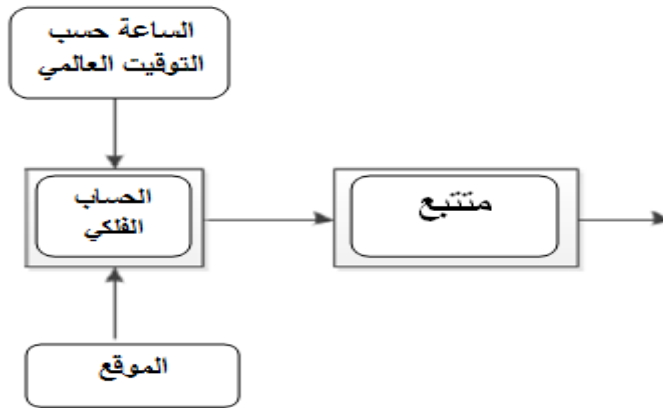
### II-4-2-4 متتبع شمسي زمني:

جهاز تعقب الطاقة الشمسية الزمني هو نظام يعتمد على جهاز توقيت يتحرك وفقاً لدوران الأرض بالنسبة إلى الشمس حول محور بنفس سرعة الأرض. للقيام بذلك، تم تصميم آلية دوران بسيطة للسماح للنظام بالتناوب طوال اليوم بغض النظر عن وجود أو عدم وجود الشمس. يدور هذا النظام بسرعة ثابتة تبلغ دورة واحدة يومياً أو 15 درجة في الساعة [10].

II-4-3 حسب آلية التحكم:

II-4-3-1 التحكم ذو الحلقة المفتوحة:

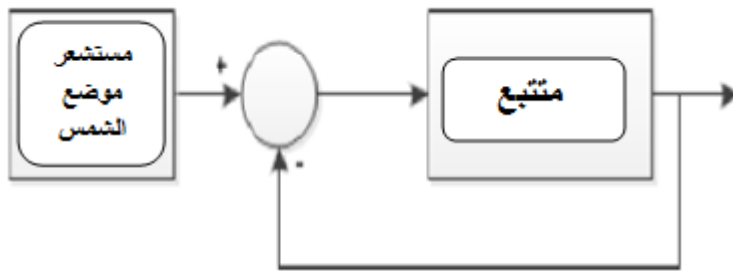
ما يسمى بأمر الحلقة المفتوحة هو أمر تتبع نشط يعتمد فقط على الحسابات الفلكية لموقف الشمس (حساب التقويم الفلكي)، دون قياس موضع الشمس. في الواقع، فإنه ينشئ نقاط ضبط لمسار التتبع (في هذه الحالة زاوية السميت والارتفاع) من وقت وإحداثيات GPS لمحطة مركزية. مثل أي أمر مفتوح الحلقة، فهو حساس للغاية للاضطرابات (عدم وجود ردود فعل) وأخطاء النمذجة [8].



الشكل (II. 7): تحكم ذو حلقة مفتوحة

II-4-3-2 التحكم ذو الحلقة المغلقة:

التحكم في الحلقة المغلقة هو عنصر تحكم نشط يستند إلى قياس لخطأ التتبع الفعلي للتحكم في مشغلات التعقب. يتم توفير مقياس الخطأ هذا عمومًا بواسطة أداة تجميع الطاقة الشمسية، والتي تسمى أيضًا أداة العثور على الطاقة الشمسية. في بعض الحالات، لا يمثل الإرجاع خطأ في التتبع ولكنه قوة تنتجها الوحدة. في الواقع، تتمثل هذه الإستراتيجية في توجيه المتتبعين وفقًا لموقف المتتبع الأفضل، بدءًا من أي موضع (موضع عشوائي) [8].



الشكل (II.8): تحكم ذو حلقة مغلقة

### II-3-4-3 التحكم الهجين:

التحكم الهجين أو المختلط هو أمر تتبع يجمع بين حساب موضع المرجع المقترح من قبل "الحلقة المفتوحة"، وبيانات الإرجاع المقترحة بواسطة أمر الحلقة المغلقة [9].

### II-5 التطور التكنولوجي للمتتبعات الشمسية:

تم إجراء العديد من الأبحاث لتحسين وزيادة إنتاج الطاقة الكهربائية من خلال تحويل الطاقة الشمسية. من بين هذه الدراسات:

Robert H.Dold et F.R.Rubio [2007]، وصف متتبع شمسي ذو محورين قادر على تحمل الظروف الجوية القاسية ويتبع حركة الارتفاع وحركة السمات.

يشمل المتتبع الشمسي لوحاً شمسياً وإطاراً وقاعدة وإطاراً محورياً ومحركاً أولاً وثانياً. يتم تثبيت الألواح الشمسية على الإطار ويلتقط ضوء الشمس. يتحكم المحرك الأول في حركة ارتفاع اللوح الشمسي ويتحكم المحرك الثاني في حركة السمات للوح الشمسي [12].

J. Rizk [2008]، ينص على فوائد النظام المحتملة لتتبع النظام الشمسي البسيط باستخدام محرك الخطوي ومستشعر الضوء. وبحسب ما ورد تم تصميم نظام التتبع الشمسي، وتم اختباره على سبيل التجربة. وتمت مناقشة تفاصيل التصميم والنتائج التجريبية. تم تصميم جهاز تعقب الطاقة الشمسية بتوظيف خلايا شمسية صغيرة لتعمل كأنظمة استشعار ذاتية الضبط، مما يوفر مؤشراً متغيراً لزاويتها النسبية للشمس عن طريق الكشف عن ناتج الجهد. باستخدام هذا الأسلوب، تم العثور على تعقب الطاقة الشمسية لتكون ناجحة في الحفاظ على الألواح الشمسية في زاوية عمودية بما فيه الكفاية للشمس. زيادة القوة المكتسبة على مجموعة أفقية ثابتة كانت 30% [12].

Nader Barsoum [2010]، ينص على أن الأبحاث أثبتت أن نظام التتبع الشمسي مع حرية أحادية المحور يمكن أن يزيد إنتاج الطاقة بنسبة 20%. تقريباً، في حين أن نظام التتبع ثنائي المحور المزدوج يمكن أن يزيد من الإنتاج بأكثر من 40%. لذلك كان هذا العمل هو تطوير وتنفيذ نظام تتبع للطاقة الشمسية مع كل درجة من الحرية والتي تكشف عن أشعة الشمس باستخدام أجهزة الاستشعار. كانت وحدة التحكم الطرفية هذه بمثابة العقل المدبر لنظام التتبع بالكامل، وتم برمجتها للكشف عن ضوء الشمس من خلال أجهزة الاستشعار وتم قام بتشغيل المحرك لوضع حيث يمكن لأشعة الشمس القصوى أن

تضيء سطح اللوحة الشمسية. هذا مبرمج للكشف عن أشعة الشمس باستخدام الخلايا الضوئية ومن ثم تشغيل المحرك لوضع الألواح الشمسية حيث يمكن أن تتلقى أشعة الشمس القصوى [12].

L. Kancevica [2012]، أشار إلى أن أحد أسباب جهاز تتبع أشعة الشمس، أنه كان الإشعاع الشمسي يضرب بشكل مستمر عمودياً على مجمع الصفائح المسطحة، والتي أنتجت في نهاية الأمر طاقة حرارية بمعدل 1.4 مرة مقارنة مع المجمع الثابت من نفس الحجم [12].

Mostefa Ghassoul [2013]، يصف في تصميمه إنشاء واختبار نظام ذكي لتتبع أشعة الشمس من حيث التكلفة لاستخراج الطاقة الشمسية القصوى. تم تصميمه ليتم تشغيله بواسطة جهاز تحكم دقيق PIC 18F452 صغير الحجم. يعتمد النظام على آليتين. الأولى هو آلية البحث (PILOT) التي تحدد موقع الشمس. الآلية الثانية (الألواح الذكية) تتماشى مع PILOT فقط إذا كان من الممكن استخراج أقصى طاقة ممكنة [12].

## 6-II إيجابيات وسلبيات جهاز تعقب الطاقة الشمسية:

### 1-6-II الإيجابيات:

✓ يولد المتتبع كهرباء أكثر من نظرائهم الثابتة بسبب زيادة التعرض المباشر للأشعة الشمسية. يمكن أن تصل هذه الزيادة إلى ما بين 10 إلى 25% حسب الموقع الجغرافي لنظام التتبع.

✓ هناك العديد من الأنواع المختلفة من أجهزة تتبع الطاقة الشمسية، مثل أجهزة تتبع أحادية المحور وذات محورين، وكلها يمكن أن تكون مناسبة تمامًا لموقع عمل فريد. يعد حجم التركيب والطقس المحلي ودرجة خطوط العرض والمتطلبات الكهربائية كلها اعتبارات مهمة يمكن أن تؤثر على نوع جهاز تعقب الطاقة الشمسية الأنسب لتركيبات شمسية معينة.

✓ تولد أجهزة تتبع الطاقة الشمسية مزيداً من الكهرباء في نفس المساحة المطلوبة تقريباً لأنظمة الإمالة الثابتة، مما يجعلها مثالية لتحسين استخدام الأراضي.

✓ في بعض الحالات، تقدم بعض الأدوات المساعدة خطط أسعار وقت الاستخدام (TOU) للطاقة الشمسية، مما يعني أن الأداة سوف تشتري الطاقة المولدة أثناء وقت الذروة من اليوم بمعدل أعلى. في هذه الحالة، من المفيد توليد قدر أكبر من الكهرباء خلال أوقات الذروة من اليوم. يساعد استخدام نظام التتبع على زيادة مكاسب الطاقة خلال فترات الذروة الزمنية هذه.

✓ أدى التقدم في التكنولوجيا والموثوقية في مجال الإلكترونيات والميكانيك إلى انخفاض كبير في مخاوف الصيانة طويلة الأجل لأنظمة التتبع [13].

## II-6-2 السلبيات:

- تعد أجهزة تتبع الطاقة الشمسية أعلى من نظيراتها الثابتة، نظرًا للتكنولوجيا الأكثر تعقيدًا والأجزاء المتحركة اللازمة لتشغيلها [22].
- حتى مع التقدم في الموثوقية، هناك حاجة إلى صيانة عامة أكثر من الرف الثابت التقليدي، على الرغم من أن جودة تعقب الطاقة الشمسية يمكن أن تلعب دورًا في مقدار وكمية هذه الصيانة المطلوبة.
- أجهزة التتبع هي نظام أكثر تعقيدًا من الأرفف الثابتة. هذا يعني أن هناك حاجة إلى مزيد من إعداد الموقع عادة، بما في ذلك حفر الخنادق الإضافية للأسلاك وبعض الدرجات الإضافية.
- تتطلب مشاريع التتبع أحادية المحور أيضًا تركيزًا إضافيًا على استقرار الشركة وقابليتها للمصرف. عندما يتعلق الأمر بتمويل المشاريع، فإن هذه الأنظمة أكثر تعقيدًا، وبالتالي يُنظر إليها على أنها مخاطرة أعلى من وجهة نظر الممول.
- يتم تصميم أجهزة تتبع الطاقة الشمسية عمومًا في المناخات التي لا تحتوي على ثلوج تذكر أو تساقط الثلوج، مما يجعلها حلاً أكثر قابلية للتطبيق في المناخات الأكثر دفئًا. الأرفف الثابتة تستوعب الظروف البيئية القاسية بسهولة أكبر من أنظمة التتبع.
- بشكل عام، تعد أجهزة تتبع الطاقة الشمسية من المنشآت عالية الكفاءة وهي مناسبة جدًا لكل من مواقع المشاريع الكبيرة والصغيرة بالنظر إلى الموقع المناسب وظروف الموقع [13].

### 7-II خاتمة:

مع التطور العلمي استطاع العلماء أن يخترعوا عدة أنواع من أجهزة التعقب الشمسية المتطورة ذات الأشكال والأنواع المختلفة القادرة على تتبع الشمس، لتحسين إنتاج الكهرباء وخفض التكاليف وتكون أكثر راحة ونفعا.

لهذا السبب في هذا الفصل قمنا بتعريف متتبعات الطاقة الشمسية المتقدمة المستخدمة في مختلف المناطق. وفي الفصل التالي، سوف نتطرق لتجارب تحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية باستعمال متتبعي الشمس القطبي وثنائي المحور.

# الفصل الثالث:

## الدراسة التجريبية

1-III مقدمة:

في الفصل السابق تعرفنا على أهم المتتبعات الشمسية ومدى التطور الواقع في مسألة الطاقة البديلة. وسنتطرق في هذا الفصل إلى تحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية باستعمال متتبعات الشمس.

2-III الدراسات السابقة:

في دراسة تجريبية عن تأثير المتتبع الشمسي على تحسين أداء الألواح الكهروضوئية تمت في منطقة سيدي خويلد ولاية ورقلة جنوب شرق الجزائر خلال عام 2020، أجريت التجربة بهذه المنطقة يومي 23 و 24 من شهر سبتمبر حيث قاموا بوضع لوح شمسي مثبت على حامل والآخر متتبع شمسي ثنائي المحاور ومتصلين بأجهزة القياس، كما تم تقييم دور المتتبع الشمسي في زيادة الطاقة المنتجة. يمكن التعرف على تأثير المتتبع الثنائي عن طريق مقارنة الأداء ثابت وأخر متحرك، أخذت القياسات ما بين الساعة 08:00 إلى 17:00 لليوم الأول ومن 08:00 إلى 18:00 في اليوم الثاني من النتائج المتحصل عليها من خلال تحليل منحنيات أداء الألواح الشمسية المعرضة للشمس [2].



الشكل (1.III) : اللوح الثابت مع المتتبع الشمسي ثنائي المحور في وضعيات مختلفة

بعد تحليل ومقارنة نتائج التجربة المتحصل عليها، خلص البحث إلى تحقيق نتائج مرجوة من طرف المتتبع الشمسي ثنائي المحور الذي كان الهدف من هذه الدراسة حيث بلغت نسبة التحسين في شدة الإشعاع يوم (2020/09/24) 60.63% بينما بالنسبة لتيار القصر فكانت 56.61% [2].

في دراسة أخرى تم إجراؤها في ورقلة حول تأثير أجهزة تعقب الطاقة الشمسية على الإنتاج الكهربائي للوحة الطاقة الشمسية الضوئية في عام 2022، أجريت يوم 23 من شهر ماي حيث قاموا بوضع لوح شمسي مثبت على حامل والآخر متتبع شمسي أحادي المحور ومتصلين بأجهزة القياس، كما

تم تقييم دور المتتبع الشمسي في زيادة الطاقة المنتجة. يمكن التعرف على تأثير المتتبع الأحادي عن طريق مقارنة الأداء ثابت وآخر متحرك، أخذت القياسات ما بين الساعة 06:10 إلى 19:35 والنتائج المتحصل عليها من خلال تحليل منحنيات أداء الألواح الشمسية المعرضة للشمس [3].



الشكل (2.III): اللوح الثابت مع المتتبع الشمسي أحادي المحور في وضعيات مختلفة

بعد تحليل ومقارنة نتائج التجربة المتحصل عليها، خلص البحث إلى تحقيق نتائج مرجوة من طرف المتتبع الشمسي أحادي المحور الذي كان الهدف من هذه الدراسة حيث بلغت نسبة التحسين في شدة الإشعاع 114.81 % يوم 2022/05/23 بينما بالنسبة لتيار القصر فكانت 88.02% [3].

في دراسة تجريبية عن تأثير المتتبع الشمسي على تحسين أداء الألواح الكهروضوئية تمت في ولاية وادي سوف جنوب شرق الجزائر خلال عام 2018، أجريت يوم 18 ماي حيث قاموا بوضع لوح شمسي مثبت على حامل والآخر متتبع شمسي ثنائي المحاور ومتصلين بأجهزة القياس، كما تم تقييم دور المتتبع الشمسي في زيادة الطاقة المنتجة. يمكن التعرف على تأثير المتتبع الثنائي عن طريق مقارنة الأداء ثابت وآخر متحرك، أخذت القياسات ما بين الساعة 08:00 إلى 16:00 والنتائج المتحصل عليها من خلال تحليل منحنيات أداء الألواح الشمسية المعرضة للشمس [17].



الشكل (3.III): اللوح الثابت مع المتتبع الشمسي ثنائي المحور

بعد تحليل ومقارنة نتائج التجربة المتحصل عليها، خلال مقارنة لوحة شمسية ثابتة مع لوحة شمسية أخرى متصلة بمتعقب شمسي، كانت النتائج رائعة للغاية حيث أظهرت الفرق بين اللوحين، حيث تشير إلى تفوق نظام التتبع بالنسبة إلى النظام الثابت من خلال نسبة التحسين في الإشعاع والاستطاعة.

في 01 أكتوبر 2013 تم تركيب جهاز تعقب Suntrix أفقي أحادي المحور (STH) من قبل أكبر شركة EPC في اليونان لمشروع 8 ميغاوات في نوسا (اليونان)، يزيد جهاز تعقب STH من إنتاج الطاقة بنسبة 16% مقارنة بالتركيب الكهروضوئي الثابت في هذا الموقع [18].



الشكل (4.III): جهاز تعقب Suntrix أفقي أحادي المحور (STH) في اليونان

### 3-III الدراسة التجريبية:

#### 1-3-III الموقع الجغرافي لمكان التجربة:

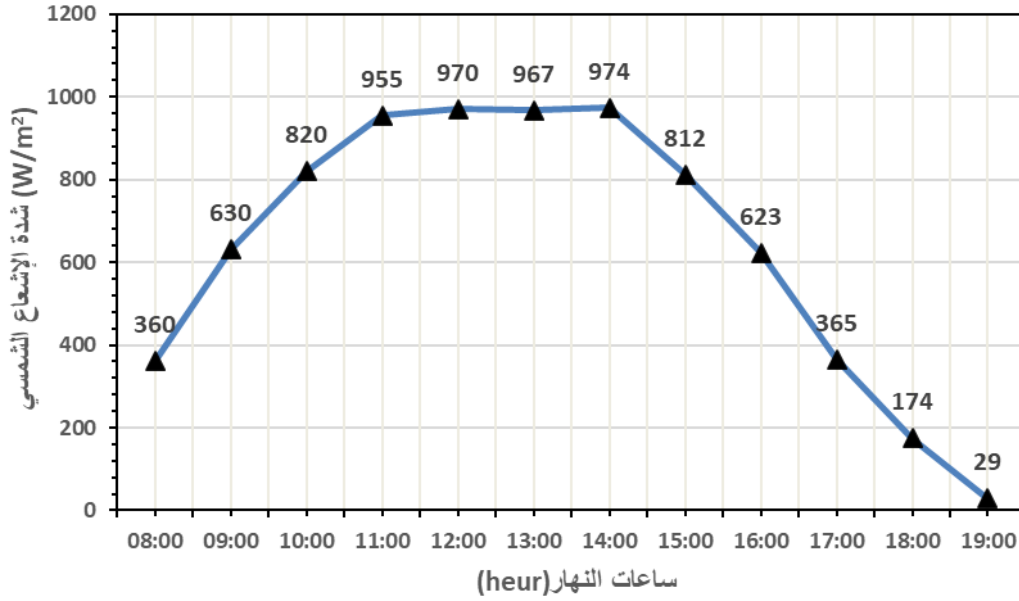
تم إجراء الدراسة التجريبية بالمحيط الفلاحي المسمى "عرق الداب" ببلدية سيدي خويلد ولاية ورقلة، منطقة سيدي خويلد هي مكان سياحي بامتياز وهي أيضا شبه فلاحية تحتوي على أربع محيطات فلاحية وهي: عرق الطويل، عرق الداب، الذيابة وعين البلاد (لاحظ الشكل (5.III)).



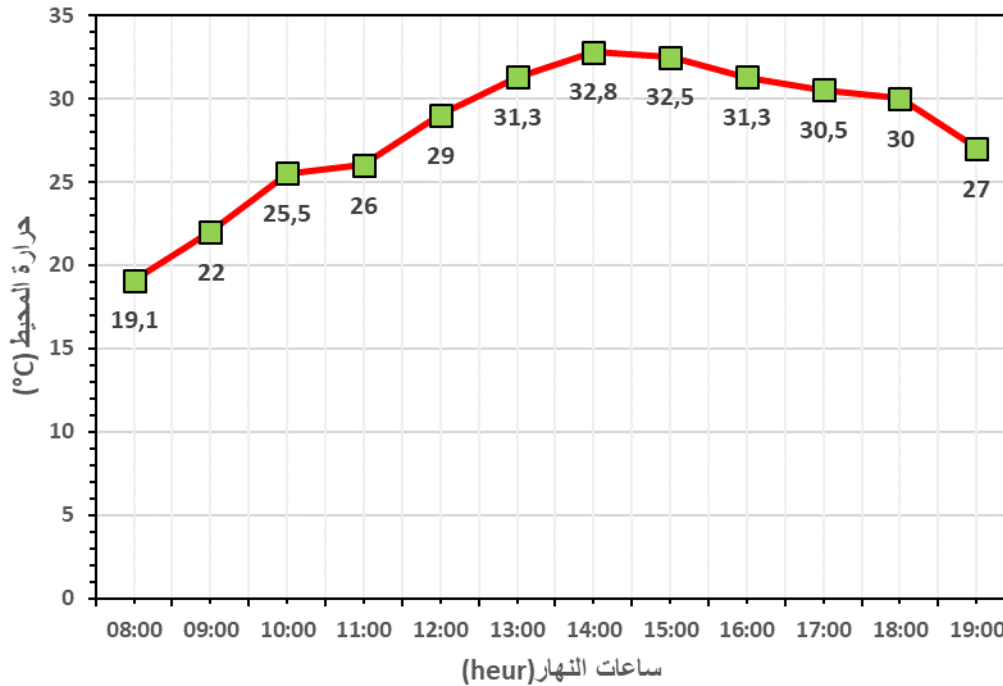
الشكل (5.III): موقع الدراسة التجريبية

### III-3-2 المعلومات المناخية ليوم إجراء التجارب:

كما لاحظ الكثيرون منا، فقد تميز شهر ماي هذا العام بولاية ورقلة على غير العادة بطقس متقلب ومضطرب جداً. نادراً ما تجد فيه يوماً صحواً يصلح لإجراء الدراسة التجريبية، لهذا تأخرنا في إجرائها رجاء تحسن الأحوال الجوية وقد حصل ذلك والحمد لله في الفترة الممتدة بين 20 و 23 منه. وقد اخترنا يوم الأحد 2023/05/21 لإجراء التجارب بعد الاستعانة بمرصد الأحوال الجوية بمطار حاسي مسعود حيث تميز هذا اليوم بطقس جميل ومعتدل، صحو مع مرور سحب خفيفة من النوع الخفيف العالي بين الساعة منتصف النهار والواحدة ظهراً. الخصائص المناخية لهذا اليوم مبينة في الشكلين (6.III) و (7.III).



الشكل (6.III): تغير شدة الإشعاع الشمسي ليوم 2023/05/21

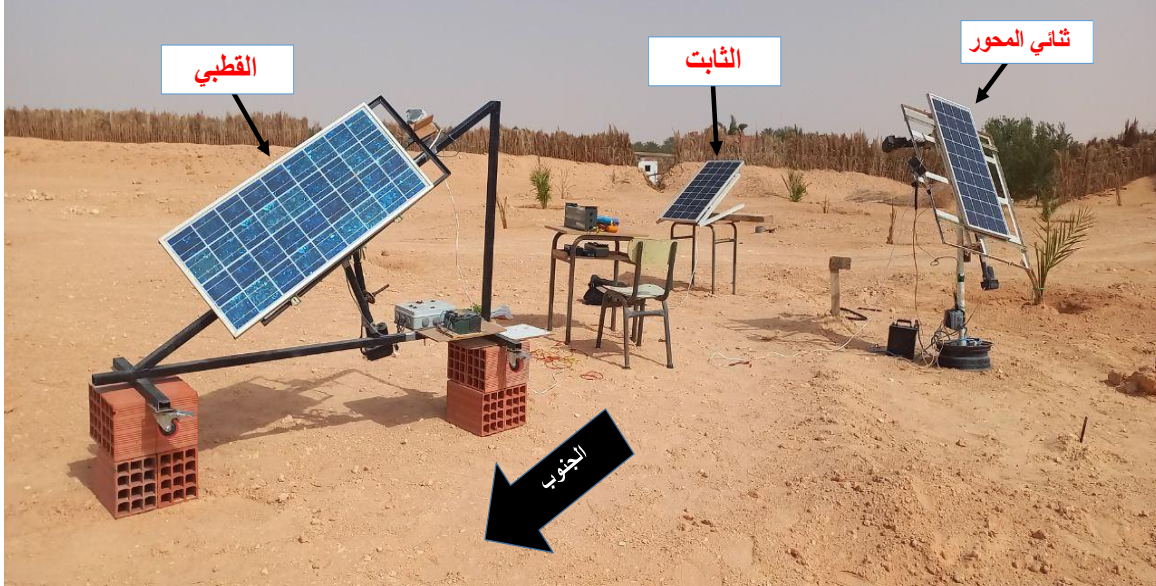


الشكل (7.III): تغير درجة حرارة المحيط ليوم 2023/05/21

كما أسلفنا سابقاً، تميز اليوم محل الدراسة بطقس جميل حيث بلغت درجة الحرارة القصوى 32,8 درجة مئوية وشدة إشعاع أعظمي قدره 974 W/m<sup>2</sup> عند الساعة الثانية بعد الظهر (لاحظ الشكلين (6.III) و (7.III)).

III-3-3 مرحلة إجراء التجارب:

قمنا باختيار محيط "عرق الداب" ليكون مكان لإجراء الدراسة التجريبية وذلك لبعده على المناطق السكنية واحتوائه على مساحات شبه بيضاء خالية من كل ما يمكنه التظليل على الألواح الشمسية المستعملة في التجربة.



الشكل (8.III): مختلف التركيبات المستعملة في التجربة

كما هو مبين في الشكل (8.III)، قمنا بتثبيت ثلاث ألواح شمسية من نفس النوع والسعة ( TE P – 500 متعدد البلورات باستطاعة 55 W (لاحظ الجدول (1.III)) على ثلاثة تركيبات مختلفة:

- الأولى ثابتة تتجه نحو الجنوب ومائلة بزاوية 32° عن الأفق وتسمى الشاهد،
- الثانية مثبتة على متتبع شمسي ذو المحور القطبي موجه للجنوب ومحور دورانه مائل بزاوية 32° عن الأفق،
- الثالثة مثبتة على متتبع شمسي ثنائي المحور.

بعد ذلك نقوم بقياس الإشعاع الشمسي الساقط على أسطح الألواح الشمسية الثلاثة وكذلك درجات حرارتها مع قياس درجة حرارة المحيط كل ساعة من طلوع الشمس إلى غروبها وذلك باستعمال الأجهزة المبينة في الشكل (9.III).

الجدول (1.III): الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية المستعملة

Wc 55	الاستطاعة الإسمية
A 3,5	شدة تيار القصر
V 22,2	توتر الدارة المفتوحة
A 3,14	شدة التيار الأعظمي
V 17,5	التوتر الأعظمي



الشكل (9.III): مختلف أجهزة القياس المستعملة

III-3-4 مقارنة النتائج المتحصل عليها خلال فترة الدراسة:

III-3-4-1 مقارنة درجة الحرارة للألواح الشمسية:

قمنا بتنصيب Thermocouple Type K على الجهة الخلفية لكل لوح من الألواح الثلاثة

(لاحظ الشكل (10.III)) وذلك لقياس درجة حرارتهم باستعمال جهاز ( Température mètre )

(PHUWE) كل ساعة طيلة ساعات النهار ليوم 21 ماي، والنتائج مبينة في الجدول (2.III).

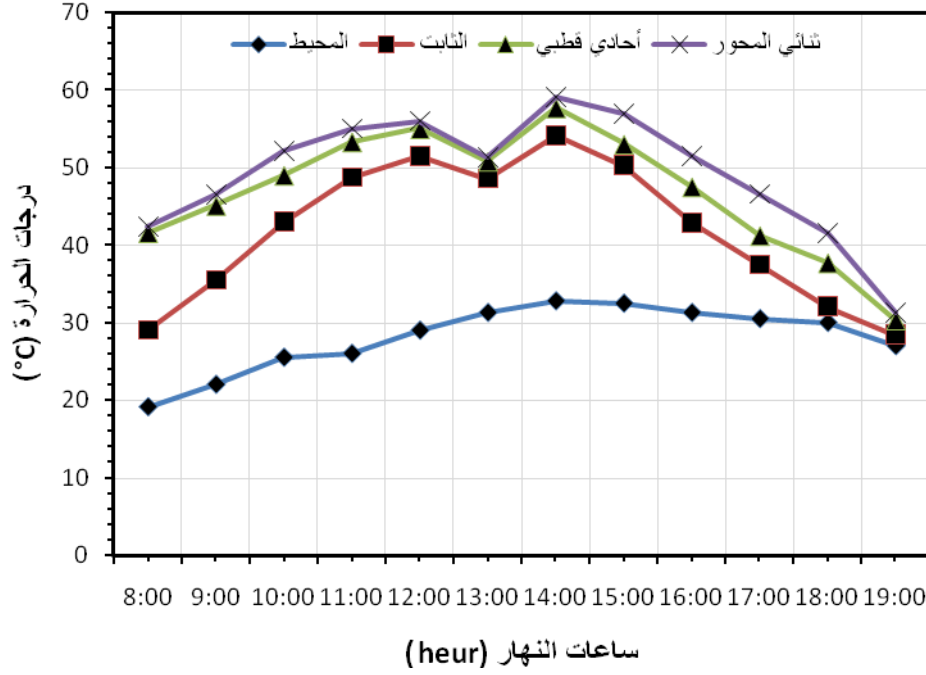


الشكل (10.III): تثبيت Thermocouple على الجهة الخلفية للألواح الشمسية

الجدول (2.III): درجة حرارة الألواح الثلاثة مع حرارة المحيط خلال ساعات النهار ليوم 2023/05/21

درجة الحرارة C°				الساعة
ثنائي المحور	أحادي قطبي	الثابت	المحيط	
42,4	41,6	29	19,1	08:00
46,5	45,1	35,5	22	09:00
52,1	49	43	25,5	10:00
55	53,3	48,8	26	11:00
56	55	51,5	29	12:00
51,3	50,8	48,6	31,3	13:00
59,1	57,7	54,2	32,8	14:00
56,9	53	50,3	32,5	15:00
51,5	47,5	42,9	31,3	16:00
46,6	41,2	37,5	30,5	17:00
41,6	37,7	32,1	30	18:00
31,3	30,3	28,4	27	19:00

نلاحظ من خلال الرسومات البيانية الموضحة في الشكل (11.III) أن اللوح المثبت على المنتبج ثنائي المحور درجة حرارته عالية مقارنة بالثابت وذلك لمواجهته المباشرة لأشعة الشمس، يليه في ذلك اللوح المثبت على الأحادي القطبي والذي لا يبتعد عنه كثيرا في الحرارة لميلانه بعض الشيء عن الشمس في بعض الأحيان. كما نلاحظ انخفاض طفيف لدرجة الحرارة على الساعة الواحدة ظهرا وذلك لمرور سحب عابرة وهبوب نسيمات باردة نوعا ما.



الشكل (11.III): تغير درجات الحرارة خلال ساعات النهار ليوم 2023/05/21

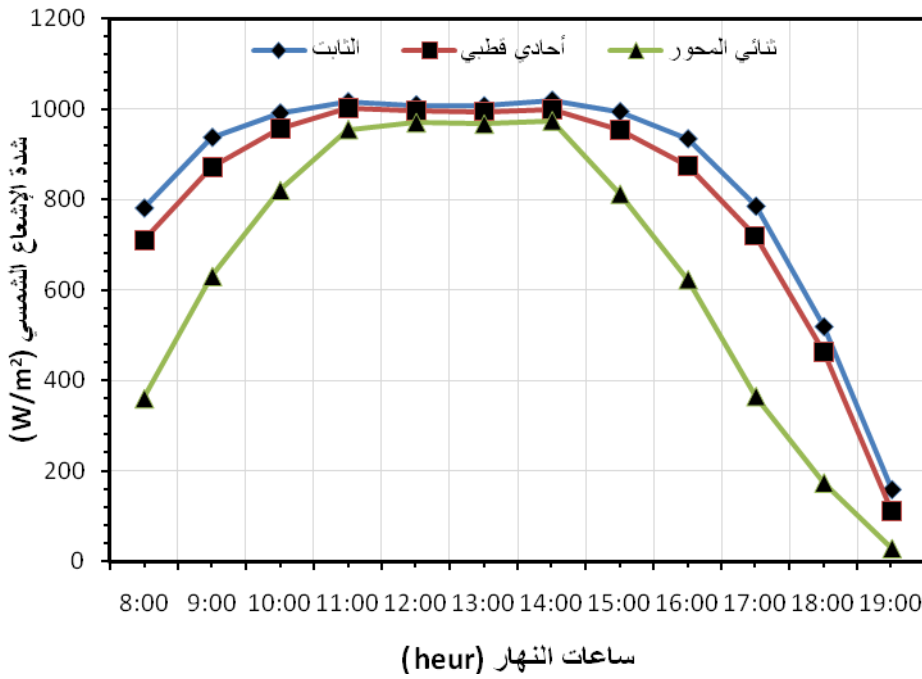
### III-3-4-2 مقارنة شدة الإشعاع الشمسي الساقط على أسطح الألواح الشمسية الثلاثة:

قمنا بقياس شدة الإشعاع الشمسي الساقط على أسطح الألواح الشمسية الثلاثة المستعملة في التجربة (الثابت، القطبي وثنائي المحور) كل ساعة من شروق الشمس إلى غروبها، فتحصلنا على النتائج المبينة في الجدول التالي:

الجدول (3.III): شدة الإشعاع الشمسي على أسطح الألواح الثلاثة ليوم 2023/05/21

شدة الإشعاع (W/m <sup>2</sup> )			الساعة
ثنائي المحور	أحادي قطبي	الثابت	
782	711	360	08:00
938	872	630	09:00
992	957	820	10:00
1017	1003	955	11:00
1010	997	970	12:00
1008	995	967	13:00
1020	1000	974	14:00
995	955	812	15:00
935	875	623	16:00
786	720	365	17:00
520	463	174	18:00
160	111	29	19:00

من خلال الرسم البياني المبين في الشكل (12.III) والذي يمثل تغير شدة الإشعاع الشمسي الساقط على أسطح الألواح الثلاثة المستعملة في الدراسة التجريبية خلال ساعات النهار ليوم 2023/05/21، حيث نلاحظ الفرق في تغير قيم شدة الإشعاع الساقط على الألواح المتحركة مقارنة بالثابت، فبالنسبة للوح المثبت على المتتبع ذو المحورين فإن شدة الإشعاع الخاص به هي الأعلى من اللوحين الآخرين لأنه دائما مواجه للشمس يليه وبدرجة أقل اللوح المثبت على المتتبع القطبي والذي لا يكون دائما مواجه للشمس. وقد سجلت القيم القصوى للإشعاع الساقط عند الساعة الثانية ظهرا حيث بلغت 1020، 1000 و 974  $W/m^2$  لكل من اللوح المثبت على ثنائي المحور، المثبت على القطبي والثابت، على الترتيب.



الشكل (12.III): تغير شدة الإشعاع الشمسي ليوم 2023/05/21

### III-3-4-3 مقارنة الاستطاعة الكهربائية المنتجة من طرف الألواح الشمسية الثلاثة:

لقياس ذلك، قمنا بربط الألواح الثلاثة بمقاومة متغيرة مع استعمال طريقة الفولط – أمبيرمتر المبينة في الشكل (13.III). نغير في قيمة الحمولة كلما تغيرت شدة الإشعاع الساقط على كل لوح والنتائج المتحصل عليها مسجلة في الجدول (4.III).

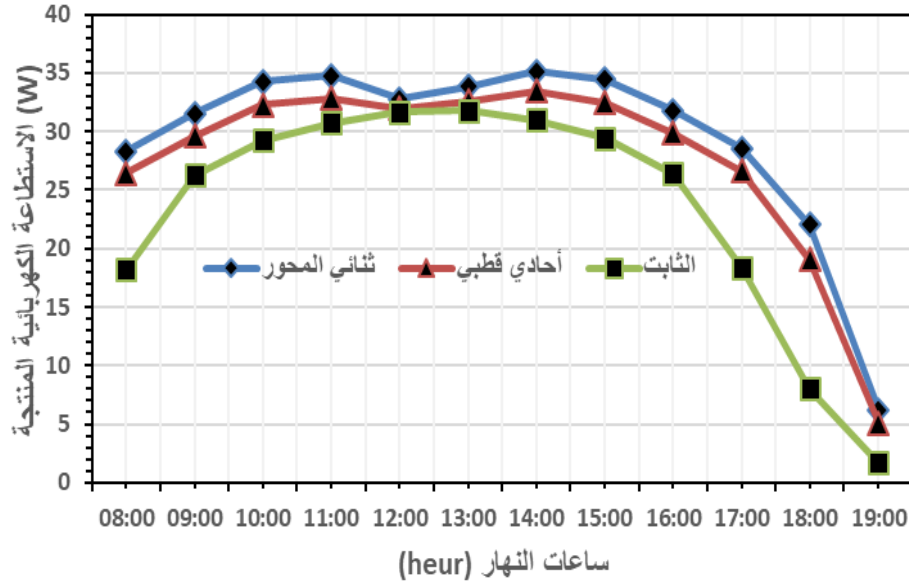


الشكل (13.III): طريقة قياس الاستطاعة المنتجة من اللوح الشمسي

الجدول (4.III): الاستطاعة الكهربائية المنتجة من الألواح الثلاثة ليوم 2023/05/21

الاستطاعة القصوى (W)			الساعة
ثنائي المحور	أحادي قطبي	الثابت	
28,33	26,42	18,22	08:00
31,56	29,6	26,23	09:00
34,27	32,28	29,27	10:00
34,76	32,83	30,74	11:00
32,79	31,95	31,66	12:00
33,86	32,58	31,77	13:00
35,14	33,46	30,98	14:00
34,45	32,46	29,44	15:00
31,77	29,84	26,4	16:00
28,53	26,65	18,39	17:00
22,06	19,08	7,99	18:00
6,24	5,1	1,66	19:00

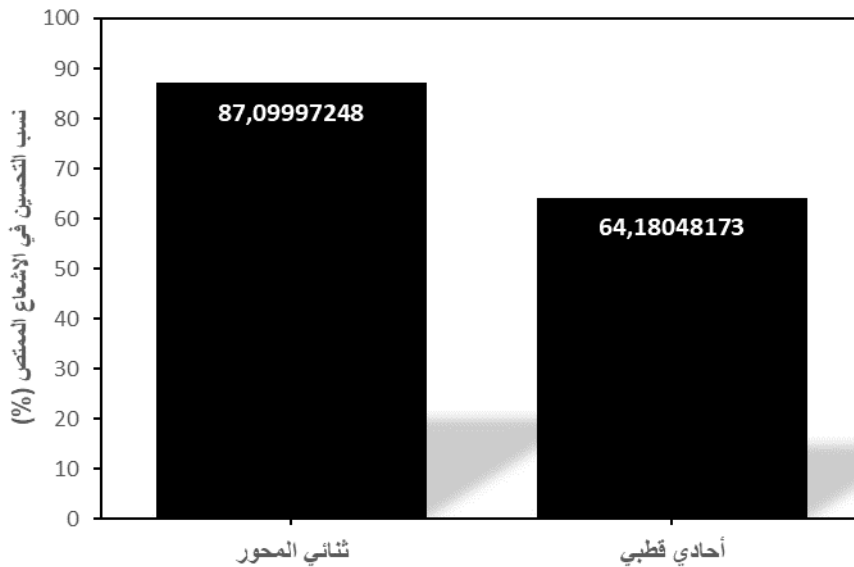
من خلال الرسم البياني المبين في الشكل (14.III) والذي يمثل تغير قيمة الاستطاعة الكهربائية المنتجة من قبل الألواح الشمسية الثلاثة المستعملة في الدراسة التجريبية خلال ساعات النهار ليوم 2023/05/21، حيث نلاحظ علو كعب الألواح المتحركة مقارنة بالثابت، فبالنسبة للوح المثبت على المتتبع ذو المحورين فإن الاستطاعة الكهربائية التي ينتجها هي الأعلى من اللوحين الآخرين لأنه دائماً مواجه للشمس وبدرجة أقل اللوح المثبت على المتتبع القطبي والذي لا يكون دائماً مواجه للشمس. وقد سجلت القيم القصوى للاستطاعة المنتجة من طرف الألواح الثلاثة حيث بلغت 33,46، 31,77، و35,14 W لكل من اللوح الثابت، المثبت على ثنائي المحور والمثبت على القطبي، على الترتيب. قيست هذه القيم على الساعة الواحدة ظهراً بالنسبة للثابت والثانية بعد الظهر بالنسبة للوحين الآخرين.



الشكل (14.III): الاستطاعة الكهربائية المنتجة من الألواح الشمسية

### III-4-3-4 التحسين في شدة الإشعاع الساقط على سطح اللوح الشمسي:

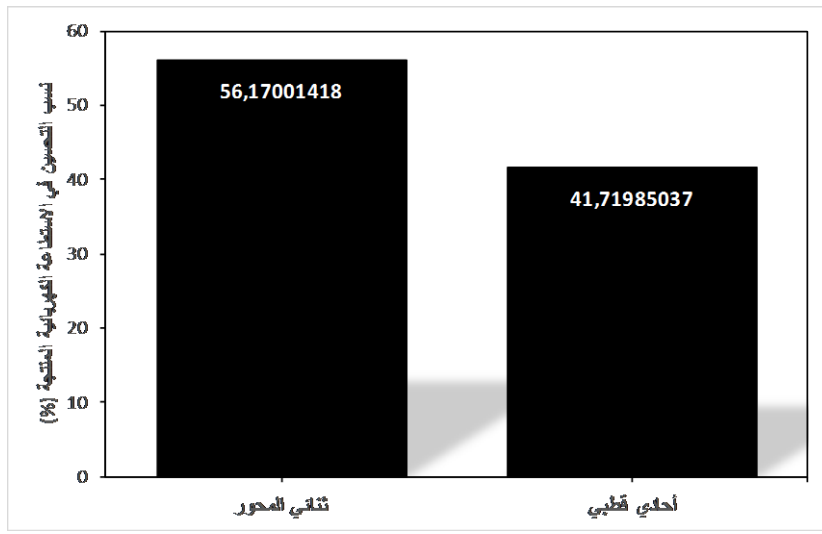
واضح للعيان من خلال النتائج المعروضة سابقا بأن شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح اللوح المثبت على المنتبغ ثنائي المحور أكبر بكثير في كامل ساعات النهار منها على الثابت، يليه في ذلك الإشعاع الساقط على اللوح المثبت على المنتبغ القطبي وذلك لأنهما في غالب الأحيان مواجهين للشمس مع ميلان خفيف للمنتبغ القطبي. حيث بلغت نسبة المعدل اليومي لزيادة شدة الإشعاع على اللوح المثبت على المنتبغ ثنائي المحور مقارنة بالثابت ليوم (2023/05/21) 87,1% و 64,18% بالنسبة للمثبت على المنتبغ القطبي مقارنة بالثابت كما هو موضح في الشكل (15.III).



الشكل (15.III): نسب التحسين في شدة الإشعاع ليوم 2023/05/21

### III-3-4-5 التحسين في قيمة الاستطاعة المنتجة من طرف الألواح الشمسية:

من خلال المنحنيات الموضحة في الشكل (III.14) نلاحظ بأن اللوح المثبت على المتتبع الثنائي ينتج استطاعة كهربائية هي الأعلى خلال كامل ساعات النهار، يليها في ذلك اللوح المثبت على المتتبع القطبي وذلك لأنهما في غالب الأحيان مواجهين للشمس. حيث بلغت نسبة المعدل اليومي لزيادة الاستطاعة المنتجة من طرف اللوح المثبت على المتتبع ثنائي المحور مقارنة بالثابت ليوم (2023/05/21) 56,17% و 41,72% بالنسبة للمثبت على المتتبع القطبي مقارنة بالثابت كما هو موضح في الشكل (III.16).



الشكل (III.16): نسبة التحسين في الاستطاعة الكهربائية المنتجة ليوم 2023/05/21

### III-4-4 الدراسة التقنو إقتصادية:

بلغت تكلفة صناعة المتتبعين 15000.00 دج بالنسبة للقطبي و 23000.00 دج بالنسبة لثنائي المحور ويمكن لكل واحد منهما حمل 9 ألواح شمسية من فئة 55 W أي بالتقريب 500 W بمساحة إجمالية قدرها 4,18 m<sup>2</sup>، وبالنظر لفارق التكلفة الكبير ووجود محرك كهربائي ثاني في المتتبع الثنائي مما يزيد من استهلاك الطاقة، هذا من جهة ومن جهة أخرى الفارق في نسبة التحسين بين المتتبعين كما لاحظناه سابقا ليس بالكبير (5,14%) بالإضافة إلى زيادة تكاليف الصيانة للمتتبع الثنائي مقارنة بالقطبي كل هذا وغيره من الأسباب يجعلنا ننصح باستعمال المتتبع القطبي كحل أمثل بالنسبة للذين يعملون على تحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية باستعمال متتبعات الشمس.

III-5 خاتمة:

في الفصل الثالث والأخير والذي خصصناه للدراسة التجريبية لتحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية باستعمال منتبعات الشمس وقد حصلنا على نتائج مرضية تحفزنا على استعمال المنتبعات الشمسية وخاصة ذات المحور القطبي في تطبيقات الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

خاتمة عامة

### خاتمة عامة:

تُعرف الطاقة الشمسية على أنها الطاقة التي تنبعث من الشمس ويتم استخدامها لتوليد الكهرباء باستخدام التكنولوجيا الكهروضوئية. يوجد تباين في مستويات الإشعاع الشمسي على سطح الأرض في مناطق مختلفة، وتُشار إلى هذه المناطق أحياناً بالإشعاع الكهروضوئي. يتم تحويل الطاقة الشمسية إلى أشكال مختلفة من الطاقة، مثل الكهرباء أو الحرارة، من أجل استخدامها في العديد من التطبيقات.

في هذا العمل، والذي قمنا فيه بإجراء دراسة تجريبية بحتة لتحسين أداء ثلاث ألواح شمسية كهروضوئية واحد ثابت والآخرين يتتبعان الشمس بتثبيت أحدهما على متتبع الشمس ذو المحور القطبي والآخر على المتتبع ثنائي المحور بمنطقة سيدي خويلد ولاية ورقلة خلال يوم كامل من القياس. يتم إجراء القياسات دورياً كل ساعة من شروق الشمس إلى غروبها.

وقد خلصت الدراسة التجريبية إلى النقاط التالية:

- بلغت نسبة المعدل اليومي لزيادة شدة الإشعاع على اللوح المثبت على المتتبع ثنائي المحور مقارنة بالثابت ليوم 2023/05/21 87,1% و 64,18% بالنسبة للمثبت على المتتبع القطبي مقارنة بالثابت،
- بلغت نسبة المعدل اليومي لزيادة الاستطاعة المنتجة من طرف اللوح المثبت على المتتبع ثنائي المحور مقارنة بالثابت ليوم 2023/05/21 56,17% و 41,72% بالنسبة للمثبت على المتتبع القطبي مقارنة بالثابت،
- بلغ الفرق في تكلفة صناعة المتتبع ثنائي المحور بالنسبة للمتتبع ذو المحور القطبي 8000.00 دج وهي قيمة مرتفعة ترجح كفة المتتبع القطبي على ثنائي المحور رغم أن نسبة التحسين الخاصة به تقل ولكن بشيء قليل نوعاً ما عنها بالنسبة لثنائي المحور.

وفي الأخير ننصح العاملين في مجال تحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية باستعمال تقنية تتبع الشمس باستخدام المتتبع القطبي لما يمثله من متانة وقلة تكلفته ونسبة تحسینه المحترمة للطاقة الكهربائية المنتجة. كما تطمح الدراسة مسبقاً لتوسيع العملية على أكثر من لوح شمسي (حقل من الألواح) وذلك لتعميم النتائج المتحصل عليها.

# المصادر والمراجع

### قائمة المصادر والمراجع

- [1] MEGHELLET.H, HOCINE.L, “contribution à l’étude d’un système photovoltaïque ”, mémoire de master, université de Bouira, 2018.
- [2] مصعب محجر ومحمد جباري ” تصميم وانجاز متتبع شمسي ذو المحورين واستعماله في تحسين أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية بمنطقة سيدي خويلد ولاية ورقلة “ مذكرة لنيل ماستر في الفيزياء تخصص طاقوية وطاقات متجددة جامعة ورقلة 2020.
- [3] Belabbas Ahmed et Ghiaba Ahmed “ Impact des traqueurs solaires sur la production électrique d’un panneau solaire photovoltaïque”, mémoire de master Université de Ouargla 2022.
- [4] Luca Rossini, 8 différences entre courant continu et courant alternatif (compréhensible par tout le monde), Article de rossini energy, 29 November 2021.
- [5] BELLAGUE Abderrahmane et MOUSSA Ishak, “Etude d’une alimentation à base de panneaux photovoltaïques”, Mémoire de fin d’étude Pour l’obtention du diplôme d’Ingénieur, Spécialité : Energie et Environnement, HIGHER SCHOOL IN APPLIED SCIENCES, TLEMCEN, 2020.
- [6] مريم أزهر علي غالب ” تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات أخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامج زيماكس “ جامعة بغداد كلية التربية للعلوم الصرفة -ابن الهيثم قسم الفيزياء 2016.
- [7] S. Khalfallaoui, “Comportement dynamique et automatisation d’un système solaire thermique muni d’un traqueur solaire,” Thèse de doctorat en Science pour l’ingénieur. Génie des procédés 2009.
- [8] S. Mohamed and B. Abdellah, “Tracker solaire,” 2017.
- [9] K. Ibtissem, “Etude , Conception et Réalisation d’un Suiveur de Soleil,” Mémoire de Master Spécialité Physique énergétique et énergies renouvelables Université Abou-Bekr Belkaid Tlemcen 2018.

[10] R.Ahmed, “improvement of efficiency for solar”, Department of Electrical and Electronic Engineering,” 2010.

[11] Samira boujenane “ tracker solaire” Mémoire de projet de fine d'étude master électronique université sidi Mohamed ben abdellah Fès Maroc 2017

[12] T. U. S. Patent and R. H. Dold, “2. Literature review,” no. 0215199, 2007.

[13] Matthew Johnston August 05, 2022 Solar Energy: Benefits and Drawbacks Investopedia.

[14] Mr. Rachedi Mohammed Yacine “ Contribution à l'Amélioration de Production d'un Collecteur Solaire dans la Région de Sidi Khouiled (Ouargla) ” Thèse de doctorat spécialité génie électrique, Université de Ouargla 2022.

[15] سماحي سهلية – “فعالية أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية في ورقلة وتأثير شدة الإشعاع الشمسي والعوامل المناخية عليها” مذكرة لنيل ماستر في الفيزياء الإشعاعات والبصريات – جامعة ورقلة 2016.

[16] سمير سعدون، مصطفى بلاد عبد الله ناصر، احمد خضر سليمان، الطاقة البديلة - مصادرهما واستخدمتها، دار اليازوري العلمية للنشر والتوزيع، الأردن، 2011.

[17] KHELLOUT Abderrahim et KHELLOUT Ahmed: “ Etude et Réalisation d'un Tracker solaire autopiloté Commande via une carte Arduino ”, un mémoire de master Université d'El-Oued 2018.

[18] <http://www.suntrix.cn/home-en/news-events.aspx>

[19] Arras Aida “Caractérisation des cellules photovoltaïques à base d'hétérojonction de silicium a-Si/c-Si ” MASTER EN PHYSIQUE Spécialité physique énergétique et énergie renouvelable UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN 2018.

[20] ASKRI Abdallah, SOUDA El Mekki, KHEMICI Ahmed, “Étude de Défauts et Défaillances sur les Panneaux Photovoltaïques et leur Maintenance”, Mémoire de fin d'étude Présenté Pour l'obtention du diplôme de Master Academique, Spécialité : Energies renouvelables en mécanique, Université Echahid Hamma Lakhdar- El Oued, 2021.

**[21]** BOULAHBAL AMINA, “ Etude et simulation du fonctionnement du système suiveur des panneaux solaires”, MEMOIRE DE MASTER UNIVERSITE BADJI MOKHTAR ANNABA 2017.

**[22]** Nam Nguyen, Solar Tracking System, Bachelor of Engineering, Degree Programme of Electronics, Helsinki Metropolia University of Applied Sciences, 23 May 2016.

**[23]** Srishti Goyal<sup>1</sup>, Vishvendra Prakash Goyal, A REVIEW PAPER ON SOLAR TRACKING SYSTEM, Vol-6 Issue-1, IJARIE-ISSN(O)-2395-4396, India, 2020.