

جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية الرياضيات وعلوم المادة  
قسم فيزياء



مذكرة : ماستر أكاديمي

قسم : الفيزياء

تخصص : فيزياء طاقوية و طاقات متجددة

إعداد الطالبة : بوخلفة أمينة

الموضوع:

دراسة تجريبية لتأثير الغبار على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية  
الكهروضوئية بمنطقة ورقلة

نوقشت يوم : 2018/06/ 06

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيساً	استاذ بجامعة قاصدي مرباح ورقلة	د. بوقطاية حمزة
مشرفاً	أ. محاضر. ا بجامعة قاصدي مرباح ورقلة	د. بشكي جمال
محاضر	أ.محاضر. ا بجامعة قاصدي مرباح ورقلة	د. وغالي سليمان
مشرف مساعد	استاذ بجامعة قاصدي مرباح ورقلة	ياسين محمد راشدي

2018/2017

## شُكْرٌ وَتَقْدِيرٌ

أُتُوِّجُه فِي نِهَائِيه هَذَا الْعَمَلِ بِالشُّكْرِ الْجَزِيلِ إِلَى جَامِعَةِ قَاصِدِي مَرْبَاحِ وَرَقَلَةِ الَّتِي اخْتَضَعْتِ وَرَعَيْتِ هَذَا الْبَحْثَ وَقَدَّمْتِ كُلَّ التَّسَهِيلَاتِ الْإِزْمَةِ لِنَجَاحِهِ. أُتُوِّجُه أَيْضًا بِجَزِيلِ الشُّكْرِ وَالْعُرْفَانِ وَالْإِمْتِنَانِ إِلَى الْأَسْتَاذِينَ الْكَرِيمِينَ مُؤَطَّرِ هَذَا الْعَمَلِ الدُّكْتُورِ: بِشُكْرِي جَمَالِ مِنْ قِسْمِ الْفِيْزِيَاءِ وَالْأَسْتَاذِ: رَاشِدِي مُحَمَّدِ يَاسِينَ مِنْ قِسْمِ الْإِلِكْتُرُونِيكِ وَ الْإِتِّصَالَاتِ وَذَلِكَ لِمَسَانَدَتِهِمْ لِهَذَا الْعَمَلِ بِكُلِّ إِهْتِمَامٍ وَصِدْقٍ، وَتَوْفِيرِ كُلِّ الْمُسْتَلْزِمَاتِ وَتَقْدِيمِ جَمِيعِ التَّسَهِيلَاتِ الْمُمْكِنَةِ، وَمَتَابَعَتِهِمْ الْجَادَةَ لِجَمِيعِ الْمَرَاحِلِ، وَ مَسَاعَدَتِهِمْ الدَّائِمَةَ، وَتَعَامُلِهِمُ الْعِزَّازِي النَّبِيلِ، وَنَبْضِهِمُ الْمَادِي، وَعَطَائِهِمُ الْمُسْتَمِرَّ وَمَلَاخِظَاتِهِمُ الْبِنَاءِ، وَمَعْلُومَاتِهِمُ الْقِيَمَةَ الَّتِي أُغْنِيَتْ هَذَا الْعَمَلِ وَلِجَهْدِهِمُ الْحَثِيثَةَ لِإِتْمَامِ هَذَا الْعَمَلِ بِأَفْضَلِ صُورَةٍ مُمْكِنَةٍ تَلِيْقُ بِاسْمِ جَامِعَةِ قَاصِدِي مَرْبَاحِ .

وَالشُّكْرُ الْأَخِيرَ وَالْمُسْتَمِرَّ، الشُّكْرَ الْجَزِيلَ كُلَّ الشُّكْرِ، إِلَى الْإِنْسَانَةِ الْخَالِصَةِ، إِلَى الْمَحَبَّةِ الدَّائِمَةِ، إِلَى الْعَطَاءِ الْإِمْدُودِ، إِلَى الْإِخْلَاصِ وَالتَّفَانِيِ وَالْإِيمَانِ الصِّدْقِ وَالثَّقَةِ الْعَظِيمَةِ الشُّكْرِ لِأَمِي مَعِينَتِي فِي الْحَيَاةِ. الشُّكْرُ كُلَّ الشُّكْرِ، إِلَى الْمَعِينِ وَالسِّنْدِ فِي أَيَّامِ الْيَأْسِ، إِلَى الصِّدِيقِ فِي أَيَّامِ التَّعَبِ وَالْكَدِّ، إِلَى الرَّفِيقِ فِي كُلِّ اللَّحْظَاتِ، الْعَصِيْبَةِ مِنْهَا وَالْجَمِيلَةَ إِلَى أَبِي.

رَاجِيئًا لِهَمَّا، مِنْ عَمِيقِ الْقَلْبِ وَمِنْ صَمِيمِ الْوُجْدَانِ، الصِّحَّةَ وَالْعَافِيَةَ وَطُولَ الْعَمْرِ.  
أَمِينَةٌ بُوخْلَفَةُ

## الملخص

قمنا في هذا العمل بدراسة تجريبية بحتة حول تأثير تراكم الغبار على سطح الألواح الشمسية الكهروضوئية على الخصائص الكهربائية لهذه الأخيرة بمنطقة ورقلة. من أجل ذلك، قمنا بترك أربعة ألواح شمسية كهر وضوئية، من النوع TE500 متعدد البلورات ذات سعة 55 واط، عرضة لتراكم الغبار لمدة أربعة أسابيع متتالية يُنظف كل منها وفق رزنامة معينة (يوميًا، كل أسبوع، كل أسبوعين والأخير لا ينظف نهائياً طيلة فترة التجربة). طوال هذه المدة، قمنا بأخذ قياسات الخصائص الكهربائية للألواح الأربعة أسبوعياً كل ساعة من ساعات اليوم. وقد خلصَ البحث إلى ضرورة التنظيف الدوري الأسبوعي لسطح اللوح الشمسي لأن النتائج المسجلة أظهرت فقدان اللوح الذي لم ينظف لمدة أربعة أسابيع لطاقة يومية قُدِّرت بنسب 29.47% ذلك بالنسبة للوح شاهد كما نقصت قيمة تيار القصر بالنسبة 10% وهي نسبة معتبرة.

**الكلمات المفتاحية :** النظام الكهروضوئي، الإشعاع الشمسي، الإستطاعة القصوى المنتجة، تيار القصر، الجهد في الفراغ .

## Résumé

Dans ce travail, nous avons mené une étude purement empirique sur l'effet de l'accumulation de poussière sur la surface des panneaux solaires photovoltaïques sur les propriétés électriques de ces derniers dans la région d'Ouargla. Pour ça, Nous avons laissé quatre panneaux solaires photovoltaïques, De type TE500 Condensateurs multichristaux 55 w, Sujet à l'accumulation de poussière pendant quatre semaines consécutives, chacune nettoyée selon un calendrier spécifique (Quotidiennement, chaque semaine, toutes les deux semaines et le dernier n'est pas nettoyé pendant la durée de l'expérience). Au cours de cette période, nous avons pris des mesures des propriétés électriques des quatre panneaux chaque semaine de la journée. La recherche a conclu que le nettoyage hebdomadaire de la surface du panneau solaire était nécessaire parce que les résultats ont montré la perte de la feuille non nettoyée pendant quatre semaines d'énergie quotidienne estimée à 29.47 % Pour le panel de témoins d'énergie quotidienne due à l'accumulation de la poussière pendant quatre semaines et une de 10 % dans le court circuit. Une proportion significative.

## Abstract

In this work we have conducted a purely empirical study on the effect of the accumulation of dust on the surface of solar photovoltaic panels on the electrical properties of the latter in the region of Ouargla. For this, we left four solar photovoltaic panels, from a kind of TE500 Multi-crystal capacitors, Prone to dust accumulation for four consecutive weeks, each cleaned according to a specific calendar (Daily, every week, every two weeks and the last is not cleaned up for the duration of the experiment ). Throughout this period, we have taken measurements of the electrical properties of the four panels weekly every hour of the day. The research concluded that weekly cleaning of the surface of the solar panel was necessary because the results showed the loss of the non-cleaned sheet for four weeks of daily energy estimated at 29.47 % For the witness panel of daily energy due to the accumulation of dust for four weeks and one of 10% in the short circuit A significant proportion.

## قائمة الرموز

- $\Delta m$  : فرق في الكتلة الشمسية ( Kg ) .
- $E_g$  : طاقة الطبقة الالكترونية ( eV ) .
- $S$  : مساحة الخلية الفلوطوضونية (  $m^2$  ) .
- $E_0$  : مقدار الثابت الشمسي (  $kw/m^2$  ) .
- $I_{sc}$  : تيار القصر ( A ) .
- $V_{oc}$  : جهد في الفراغ لدارة ( V ) .
- $FF$  : معامل الشكل .
- $V_{MPP}$  : الجهد الأعظمي لدارة (V) .
- $I_{MPP}$  : التيار الأعظمي لداره ( A ) .
- $R$  : مقاومة (  $\Omega$  ) .
- $K$  : ثابت بولتزمان (  $1.38.10^{-23} J / K$  ) .
- $h$  : ثابت بلانك (  $6.62.10^{-34} j.s$  ) .
- $P_{max}$  : الاستطاعة الاعضية (W) .
- $T_{amb}$  : درجة حرارة المحيط (  $C^\circ$  ) .
- $T_c$  : درجة حرارة الخلية (  $C^\circ$  ) .
- $H_{on}$  : شدة الاشعاع الشمسي خارج الغلاف .

## قائمة الاختصارات

**PV** : الفطوفولطية .

**FF** : معامل الشكل

**Voc** : الجهد في في الدارة المفتوحة (**V**) .

**I<sub>sc</sub>** : تيار القصر (**A**) .

**h<sub>ss</sub>** : زاوية الساعة الشمسية عند الغروب بالدرجات

# فهرس المحتويات

01.....مقدمة عامة

## الفصل الأول : أهمية استخدام الطاقة الكهروضوئية

- 04..... 1-1 مقدمة
- 04..... 2-1 عموميات على الإشعاع الشمسي
- 04..... 1-2-1 الشمس
- 05..... 2-2-1 الإشعاع الشمسي
- 13..... 3-1 الخاتمة

## الفصل الثاني : الدراسة الفنية للخلايا الكهروضوئية .

- 15..... 1-2 مقدمة
- 15..... 2-2 الخلايا الشمسية الكهروضوئية
- 16..... 1-2-2 بنية الخلية الكهروضوئية
- 17..... 2-2-2 مكونات الخلية الكهروضوئية والية عملها
- 19..... 3-2 طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة على الخلايا الشمسية
- 20..... 4-2 المواد المستخدمة في الخلايا الشمسية الكهروضوئية وأنواعها
- 22..... 5-2 تأثير العوامل المناخية على الخلايا الشمسية الكهروضوئية
- 24..... 6-2 الدارة الكهربائية
- 24..... 7-2 محددات الخلية الشمسية
- 26..... 8-2 الخاتمة

## الفصل الثالث : الغبار وتأثيره على الألواح الشمسية الكهروضوئية

- 28..... 1-3 مقدمة
- 28..... 2-3 تعريف الغبار
- 29..... 3-3 دراسات علمية سابقة
- 31..... 4-3 طريقة تأثير الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية
- 32..... 5-3 اساليب تنظيف الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية
- 34..... 6-3 الخاتمة

## الفصل الرابع : دراسة تأثير الغبار على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية

36	1-4 مقدمة
36	2-4 مراحل اجراء التجارب
37	1-2-4 مرحلة تثبيت الالواح الشمسية الكهروضوئية
37	2-2-4 الاجهزة المستعملة في التجربة
38	4-2-4 سريان التجربة
39	3-4 النتائج المتحصل عليها
40	1-3-4 احوال الطقس
41	2-3-4 تيار القصر $I_{sc}$
43	3-3-4 الجهد في الفراغ $V_{oc}$
44	4-3-4 الاستطاعة الصوى المنتجة $P_{max}$
45	5-3-4 شدة الاشعاع الشمسي الساقط على الالواح H
46	6-3-4 درجة الحرارة الخلية الشمسية الكهروضوئية
47	7-3-4 القدرة الكهربائية اليومية
48	4-4 مقارنة تغيرات بعض الخصائص الكهربائية للشاهد والوح رقم 4 بدلالة درجة حرارة الخلية لكليهما
48	1-4-4 الجهد في الفراغ
49	4-4-2 تيار القصر
49	5-4 الخاتمة
50	الخلاصة العامة
51	المراجع

## فهرس الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	الرقم
09	جدول (1-1) : قيم الثوابت A, B, C في كل شهر وفق طريقة ارشاي	01
32	جدول (1-4): الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية المستعملة في التجربة	02
36	جدول (2-4): أحوال الطقس المسجلة ليوم 2018/04/16	03
37	جدول (3-4): شدة تيار القصر للألواح الأربعة ليوم 2018/04/16.	04
38	جدول (4-4): قيم الجهد في الفراغ للألواح الأربعة ليوم 2018/04/16	05
39	جدول (5-4): نقطة الاستطاعة القصوى للألواح الأربعة ليوم 2018/04/16.	06
40	جدول (6-4) : شدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار ليوم 2018/04/16.	07
41	جدول (7-4) : درجات حرارة الألواح الأربعة خلال ساعات النهار ليوم 2018/04/16	08
42	جدول (8-4): الطاقة اليومية المنتجة ليوم 2018/04/16	09
42	جدول (9-4): نسبة الطاقة اليومية المفقودة ليوم 2018/04/16	10



## فهرس الأشكال

الرقم	عنوان الشكل	الصفحة
الشكل (1-1)	التوزيع الطبقي للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض	6
الشكل (2-1)	تغير الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي على مدار السنة	7
الشكل (3-1)	مجموعة الإشعاعات الساقطة على سطح الأرض	8
الشكل (4-1)	مركبة الإشعاع الشمسي المباشر على السطح الأفقي و المائل	12
الشكل (5-1)	مختلف أجهزة قياس شدة الإشعاع الشمسي .	13
الشكل (1-2)	آليه عمل الخلية الشمسية الكهروضوئية.	16
شكل (2-2)	ذرة سيلكون ومدارها الخارجي .	17
الشكل (3-2)	عملية تطعيم السيليكون بإضافة البورون والفسفور	18
الشكل (4-2)	المجال الكهربائي المتولد في الخلية الشمسية أثناء العمل	19
الشكل (5-2)	الاطوال الموجية ومستوي الطاقة لكل لون من ألوان الطيف.	20
الشكل (6-2)	الخلايا أحادية التبلور	21
الشكل (7-2)	الخلايا عديدة التبلور	21
الشكل (8-2)	خلايا الفيليم الرقيقة	22
لشكل (9-2)	تأثير شدة الإشعاع الشمسي على منحنيات التشغيل للخلية الشمسية	23
الشكل (10-2)	تأثير حرارة الخلية على منحنيات التشغيل للخلية الشمسية.	24
الشكل (11-2)	الدارة الكهربائية المكافئة للخلية	30
شكل (1-3)	النتائج المتحصل عليها من طرف سماوي إسماعيل	30
شكل (2-3)	الألواح قبل وبعد تراكم الغبار في بحث إبراهيم عيسى	31
شكل (3-3)	منظومة القياس المثبتة من طرف أبا بكر ندياي	37
الشكل (4-3)	التنظيف الآلي للألواح الشمسية	38
شكل (1-4)	الألواح الأربعة مثبتة على الهيكل الحديدي المعدل خصيصاً لهم	38
شكل (2-4)	الأجهزة المستعملة في تحديد إتجاه وزاوية ميل الألواح الشمسية	39
شكل (6-4)	تغير قيم الجهد في الفراغ خلال ساعات النهار للألواح الشمسية الكهروضوئية الأربعة المستعملة	42
شكل (7-4)	عملية تنظيف الألواح الشمسية الكهروضوئية	43
الشكل (5-4)	تغير شدة تيار القصر خلال ساعات النهار للألواح الشمسية الكهروضوئية الأربعة المستعملة	44
شكل (7-4)	تغير قيم الاستطاعة القصوى المنتجة خلال ساعات النهار للألواح الأربعة المستعملة	47
الشكل (8-4)	تغير درجات حرارة خلايا الألواح الأربعة مقارنة بدرجة حرارة المحيط.	48
الشكل (9-4)	تغير الجهد في الفراغ بدلالة حرارة الخلية : أ- اللوح رقم 4 ، ب- الشاهد	49



# مقدمة

## مقدمة عامة

لا تزال الطاقة عاملاً أساسياً للتنمية الاجتماعية والشركات الاقتصادية اليوم ويتواجد أشكال مختلفة من الطاقات المتجددة (الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، الطاقة المائية، الكتلة الحيوية و الطاقة الباطنية للأرض) ومع ارتفاع أسعار النفط من ناحية، والآثار البيئية الناجمة عن استخدام الموارد الأحفورية من ناحية أخرى، فإن الاعتماد على الطاقات المتجددة سيوفر مرونة كبيرة لتخفيف العجز في الطاقة بسبب زيادة الطلب في هذا السياق.

لذلك فإن قطاع الطاقة الكهروضوئية هو استجابة ذات صلة لإشكالية الطاقة، فمسألة العجز في الطاقة أقوى بالنسبة للبلدان النامية بما في ذلك إفريقيا و جنوب الصحراء الكبرى على وجه الخصوص. وإفريقيا إمكانات كبيرة في مجال الطاقات المتجددة المتاحة حالياً خصوصاً، الطاقة الشمسية التي تقدر مدة الشمس المشرقة ب 3500 ساعة في السنة واحتمال استطاعة 2650 كيلو وات/م<sup>2</sup> في السنة، وقد أدى استغلال هذه الإمكانية إلى تحسن كبير في السنوات الأخيرة مع تطور تكنولوجيات التحويل [1, 2].

إن تزايد الطلب على الطاقة الكهربائية اليوم، وارتفاع سعر المشتقات النفطية اللازمة وانخفاض الاحتياطي لها، فضلاً عن صعوبة الحصول عليها، جميعها مشكلات باتت واقعاً يهدد استقرار الطاقة في العالم مما دفع للبحث عن بدائل جديدة ومتجددة تكون متوفرة بكثرة في بلادنا كالطاقة الشمسية والتي لم يتم استغلالها بشكل جيد ولملموس حتى الآن. وبالتالي فقد أصبح استخدام الطاقة الشمسية في الوقت الحاضر لتغذية الأحمال الكهربائية ليس أمراً ملحاً فقط وإنما أمراً حتمياً يجب العمل عليه [2, 3].

إن أفضل التقنيات الواعدة هي التي تسخر طاقة الشمس حيث يعتبر التحويل المباشر للإشعاعات الشمسية إلى طاقة كهربائية عبر الخلايا الشمسية تقنية جديدة ومتطورة وهي صناعة إستراتيجية باعتبارها مصدراً طاقياً مستقبلياً سيكون له الأثر الأكبر في المحافظة على مصادر الطاقة التقليدية ولإغراض أهم واستغلال أتمن علاوة على أن مصدر طاقته مجاني ونظيف ودون مخلفات أو أخطار [2].

غير أن تراجع مردود الألواح الشمسية (المتوفرة بين أيدينا حالياً) عندما لا تكون شدة الأشعة الشمسية الساقطة كافية، فضلاً عن مردودها المصنعي المنخفض أساساً حيث لا تقدم الخلايا الشمسية استطاعتها التصميمية القصوى إذا لم

تتلقي الأشعة الشمسية الكافية والتي لا تتحقق إلا في فترة قصيرة خلال فترة الظهيرة الشمسية وفي أيام محدودة من السنة. بالإضافة إلى ذلك تأثير العوامل المناخية من ارتفاع لدرجة الحرارة والرطوبة والرياح التي تؤدي إلى تطاير حبيبات الرمال وذرات الغبار (خاصة في ولاية ورقلة محل الدراسة) وتراكمها بمرور الأيام على الألواح الشمسية الكهروضوئية مما يؤدي إلى حجب جزء كبير من أشعة الشمس (حسب كثافة الغبار ونوعيته) عن الخلايا الكهروضوئية والذي ينتج عنه انخفاض في إستطاعة الخرج للألواح الكهروضوئية وهو الأمر الذي أثبتته دراسات علمية عالمية سابقة [ 5-20 ] وهو ما نسعى إليه حيث سنحاول من خلالها الإجابة عن التساؤلات التالية :

1- هل لتراكم الغبار تأثير على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية.

2- ما مدى نجاعة التنظيف الدوري للألواح الشمسية الكهروضوئية.

3- ما هي الحلول المقترحة لحل مشكلة تراكم الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية.

وعليه ومن أجل الوصول إلى الأهداف المسطرة منذ البداية لهذا العمل ، قمنا بتثبيت أربعة ألواح شمسية من نوع بوليكرستال فئة 55 واط بمخبر الفيزياء الطاقوية بكلية علوم المادة جامعة قاصدي مرياح ورقلة بزواوية ميل ثابتة طول السنة تساوي دائرة عرض ورقلة وهي  $31.57^\circ$  موجهة للجنوب ينظف كل منها وفق رزنامة معينة وأخذ القياسات دوريا خلال فترة الدراسة.

قمنا بتقسيم هذا العمل إلى قسمين أساسيين وهما :

1- القسم النظري وهو بدوره مقسم إلى فصلين :

● الفصل الأول والذي سنخصصه للتحدث عن أهمية الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

● الفصل الثاني الذي هو عبارة عن دراسة فنية للخلايا الشمسية الكهروضوئية. سيكون عبارة عن عرض

2- القسم العملي التطبيقي وهو بدوره مقسم إلى فصلين :

● الفصل الثالث أين سنعرض فيه مجموعة من الدراسات العلمية لسابقة والتي نتحدث عن تأثير تراكم الغبار

على أداء الألواح الشمسية الكهروضوئية.

● الفصل الرابع والأخير والذي سيخصص لعرض النتائج المتحصل عليها والتعليق عليها.

ثم ننهي بحثنا هذا بمخلاصة عامة نبرز فيها أهم النتائج المتحصل عليها مع اقتراح حلول وتوصيات مستقبلية.

# الفصل الأول

أهمية استخدام الطاقة الكهروضوئية

## 1-1 مقدمة:

الخلايا الشمسية هي تكنولوجيا واعدة ومهمة وهي مستقبل الطاقة الشمسية المستدامة للحضارة الإنسانية، إذ تقوم بتحويل الإشعاعات الشمسية الساقطة إلى طاقة كهربائية نظيفة. أنماط استخدام هذه الطاقة واضحة في المستقبل، وبدليل واسع النطاق لطرق إنتاج الكميات الكبيرة من الطاقة الكهربائية اللازمة للحفاظ على تعزيز مستوى المعيشة. فتحويل ان الخلايا الشمسية المثبتة في السيارات لامتناس الطاقة الشمسية لتحل محل الاستخدام التقليدي من الديزل والغاز. و باستخدام نفس المبدأ ، يمكن أيضاً شحن الهواتف المحمولة بالطاقة الشمسية، وكذلك هناك مجموعة متنوعة من التطبيقات. على ما يبدو أن إنبعاثات غازات الاحتباس الحراري سوف يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض على مدى ال 50 سنة القادم، لذلك فإن التغير في المناخ هو التهديد الأكثر إلحاحا للاستمرار في استعمال هذه الطاقة والسعي وراء تحسين كفاءتها] 02 , 05 , 04 .

## 2-1 عموميات على الإشعاع الشمسي :

### 1-2-1 الشمس:

الشمس هي النجم المركزي للمجموعة الشمسية تعد في التصنيف النجمي نجماً من نوع القزم الأصفر و تدور حولها الأرض و سبعة كواكب أخرى و خمسة كواكب قزمة على الأقل، و العديد من الكويكبات والمدنبات و السدم. تعد الشمس أقرب النجوم إلى الأرض وهي عبارة عن كرة غازية ملتهبة بدلاً من أن تكون جسماً صلباً . هذا النوع من النجوم يقوم بتحويل الهيدروجين إلى هليوم عن طريق الاندماج النووي الذي يتكون في لب الشمس. يُقدَّر عمرها حوالي 10 مليار سنة، وتصل درجة حرارة الغلاف الخارجي لها إلى 5500 درجة مئوية، ولو دخلنا إلى لبها لوجدنا أن درجة حرارتها تصل إلى  $15.10^6$  درجة مئوية، فهي مركز المنظومة الشمسية حيث يبلغ قطرها  $139.10^4$  كم ، وهي أكبر بكثير من الأرض بحوالي 100 مرة. تتركب هذه الأخيرة 49 % من هيدروجين و 49 % من الهليوم فهما يمثلان القسم الأول من الشمس الذي يسمى بالكرة الشمسية الوهاجة. من هذا الجسم الهائل الضخامة الملتهب تخرج أشعة قوية تصل إلى الأرض بعد مرورها في الفضاء الخارجي لمسافة 93 مليون ، وهذا الجسم لا يعتبر فقط جسم أسود يشع بحرارة إنما جسم يشع بالحرارة وإمدادات للضوء. تنشأ استطاعة الإشعاع الشمسي من عمليات اندماج ذرات، حيث تندمج أربع ذرات هيدروجين " بروتونات " غير المستقرة، وتتحول إلى ذرة هيليوم مستقرة والتي تحتوي على بروتينين ونيوترونين، ونتيجة هذا التفاعل يحصل فقد في الكتلة محدود

بالنسبة لزمناً  $\Delta m = 0.0265 \times 10^{12} \text{ [kg]}$  وتعتبر الشمس مصدر الحياة ومنبع كل الطاقات المتجددة في العالم، ولا يمكن أن تستمر الحياة من دونها [2, 6].

## 2-2-1 الإشعاع الشمسي :

### ➤ تعريف الإشعاع الشمسي :

يعد الإشعاع الشمسي المصدر الرئيسي للطاقة في الغلاف الجوي إذ يساهم بأكثر من 99.98% من الطاقة المستغلة فيه وعلى سطح الأرض. أما المصادر الأخرى للطاقة المتجددة فإنها لا تساهم إلا بقسط ضئيل لا يزيد على 0.02%. الأشعة الشمسية أو ضوء الشمس هو عبارة عن مجموعة من الموجات الكهرومغناطيسية، يمكن للإنسان رؤية جزء منها يسمى ضوء مرئي وبقية لا يرى بالعين المجردة. تسقط أشعة الشمس على الأرض بعد مرورها خلال الغلاف الجوي حيث يقوم هذا الأخير بامتصاص بعضها فلا يصل إلينا. [2, 7]

### ➤ أنواع الإشعاع الشمسي:

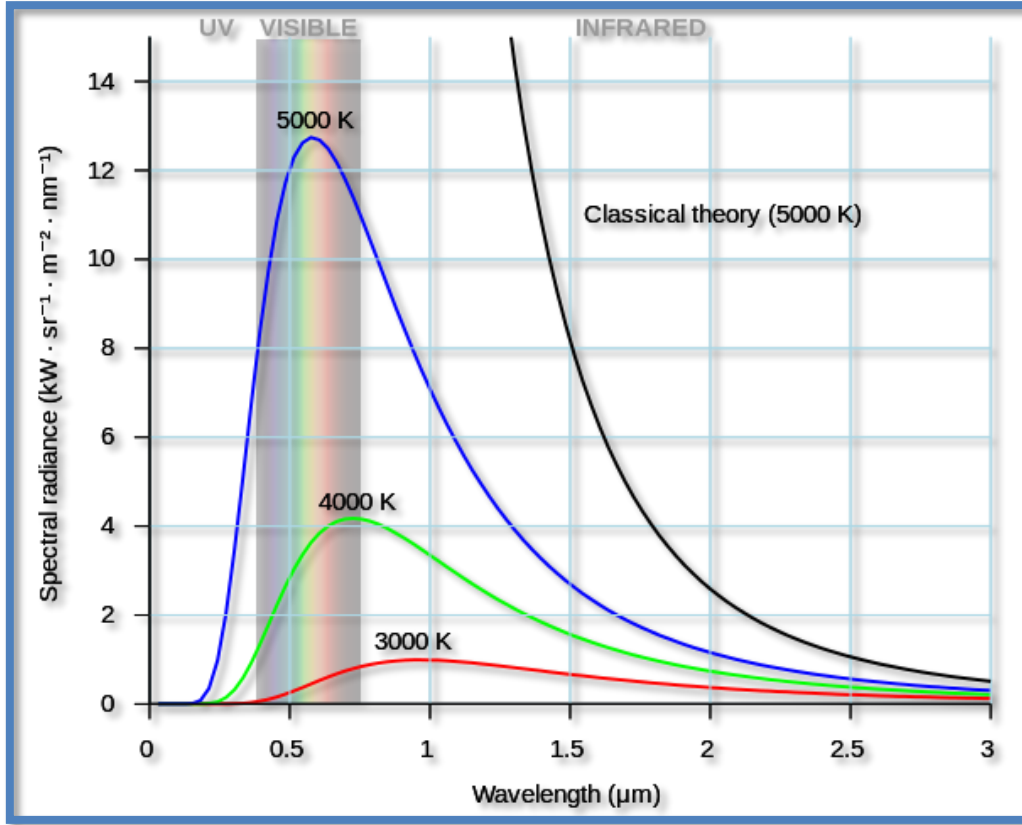
يوجد نوعين من الإشعاع الشمسي : الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي والإشعاع الشمسي على سطح الأرض.

[2]

#### أ- الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي:

يمتد طيف الإشعاع الشمسي على نطاق واسع من الأطوال الموجية ، حيث يتم امتصاص أكثر من 25% من الإشعاع خارج الأرض بواسطة الغازات الدفيئة مثل ( $\text{H}_2\text{O}$  و  $\text{CO}_2$  و  $\text{O}_3$ ) وذلك من الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض ، يوجد حوالي 52% من الطاقة في منطقة الأشعة تحت الحمراء ( 700 نانومتر) ، و 43% إشعاع ضوئي مرئي (400-700 نانومتر) وحوالي 5% في نطاق الأشعة فوق البنفسجية ( 400 نانومتر) . من الشكل (1-1) [2, 6].





الشكل (1-1) : التوزيع الطيفي للإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض. [1]

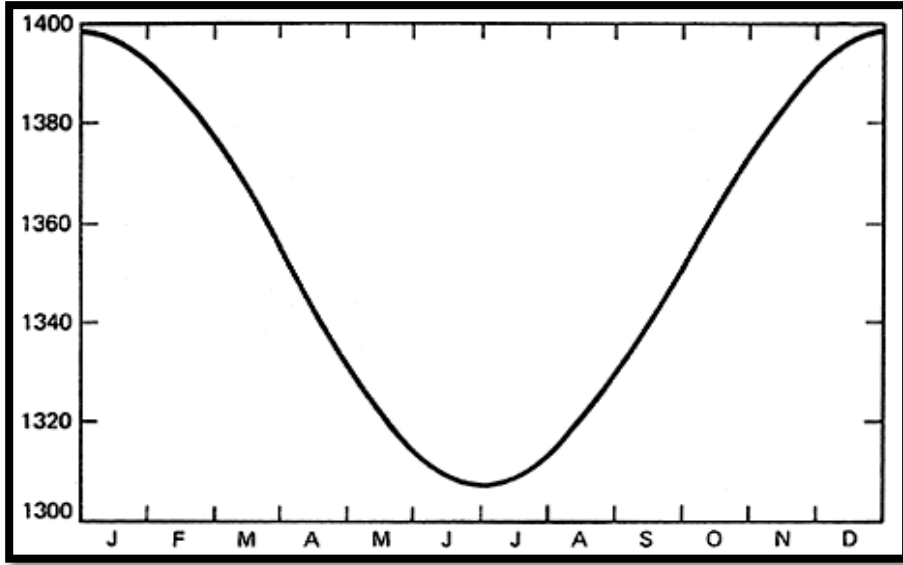
نظراً لتغيّر المسافة بين الشمس والأرض بشكل مستمر خلال العام، فإنّ شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي للأرض تكون متغيرة تبعاً لتلك المسافة والوضع للسطح مستقبل الأشعة بالنسبة للشمس. يبين الشكل (1-2) تغيّر شدة الإشعاع الشمسي العمودي على وحدة السطح خارج الغلاف الجوي  $H_{on}$  مقارنة مع القيمة الاسمية للثابت الشمسي وقدرها  $1353 [W/m^2]$  علماً أن هذا التغيّر خلال العام يكون تقريباً بحدود  $3.5 \text{ ref } \%$  ويمكن التعبير عن هذا المخطط بالعلاقة الرياضية التقريبية الآتية:

$$H_{on} = H_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{350} \right) \right] \quad (1 - 1)$$

و شدة الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي الساقط على سطح أفقي عند توقيت معين خلال السنة يعطى بالعلاقة

الآتية :

$$H_{ch} = H_{on} \sin \alpha = H_{on} \cos \theta_z \quad (2 - 1)$$



الشكل (2-1): تغير الإشعاع الشمسي خارج الغلاف الجوي على مدار السنة.

ملاحظة: وحدة شدة الإشعاع الشمسي ب  $\text{kW/m}^2$

بشكل عام يكون المطلوب عادة تحديد كمية الطاقة المحمولة مع هذه الأشعة الشمسية خلال فترة محددة ( ساعة - يوم - شهر - سنة ) يتم ذلك بإجراء التكامل خلال تلك الفترة، أي أن الطاقة المحمولة مع الأشعة الشمسية خلال ساعة على

سطح أفقي خارج الغلاف الجوي يتم حسابها كما يأتي: [6,2]

$$H_{h ext} = \int_{\tau_1}^{\tau_2} H_{oh} \times d\tau \quad (3 - 1)$$

حيث:

$\tau_1$   $\tau_2$  هما الوقت حسب التوقيت الشمسي ( بداية ونهاية الساعة الاعتبارية )

بإجراء التكامل خلال فترة زمنية معينة ( ساعة هنا ) نحصل على العلاقة الآتية:

$$H_{next} = \left(\frac{12}{\pi}\right) H_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{350}\right)\right] \left(\left(\frac{\pi}{180}\right) (h_2 - h_1)\right) [\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta (\sin h_2 - \sin h_1)] \quad (4)$$

حيث:

$h_1$   $h_2$  هما زاويتا الساعة الشمسية عند بداية ونهاية الساعة المقصودة بالدرجات على طول النهار نحصل على شدة

الإشعاع اليومي وبإجراء تكامل العلاقة :

$$H_{hext} = \left(\frac{12}{\pi}\right) H_{sc} \left[1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{350}\right)\right]$$

$$H_{h.ext} = \left(\frac{2\pi}{360} h_{ss}\right) [(h_2 - h_1) \sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \sin h_{ss}] \quad (5 - 1)$$

حيث :

$h_{ss}$  : زاوية الساعة الشمسية عند الغروب بالدرجات [2].

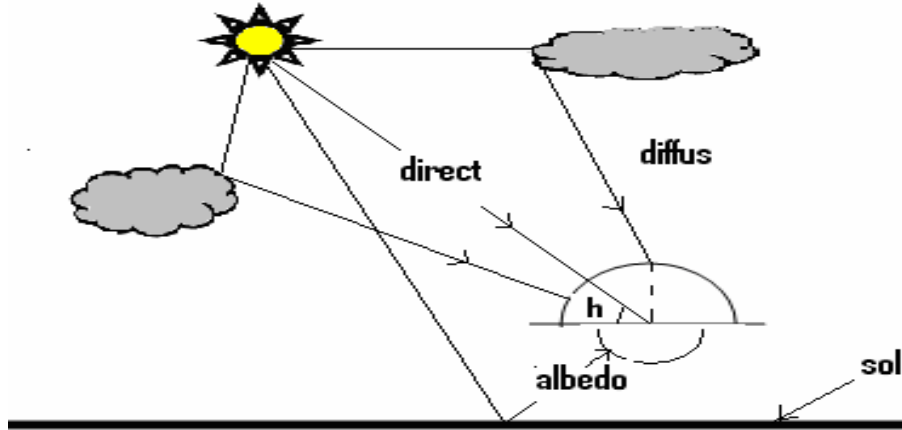
ب- الإشعاع الشمسي على سطح الأرض :

يصل إلى سطح الأرض ثلاثة أنواع من الإشعاع الشمسي وتمثل ما نسبة 50 % من هذه الأشعة وهي :

✓ الإشعاع الشمسي المشتت ويقدر ب 10 % .

✓ الإشعاع الشمسي المباشر من الشمس ويصل بنسبة 28 % .

✓ الإشعاع الشمسي المنعكس من السطوح الأخرى ويصل بنسبة 13 % . كما بينه الشكل (3-1). [4]



الشكل (3-1) : مجموعة الإشعاعات الساقطة على سطح الأرض [2]

ت- الإشعاع الشمسي على السطح الأفقي:

تتعرض الأشعة الشمسية خلال عبورها للغلاف الجوي إلى عملية تخفيض في الشدة نتيجة لعملية التشتيت لبعض الأشعة وامتصاص قسم منها من قبل الغلاف الجوي، ينشأ عن ذلك أن شدة الأشعة الشمسية على سطح الأرض تكون دائماً أقل من الشدة خارج مجال الغلاف الجوي للأرض. تتكون الأشعة الشمسية الساقطة على السطح الأفقي المتوضع على سطح الأرض من مركبتين فقط هما:

- **التدفق الشمسي المباشر** : هو الذي ينتقل عبر الغلاف الجوي أي الأشعة الواصلة من الشمس إلى السطح مباشرة من دون انعكاس.

- **التدفق الشمسي المنتشر** : هو الذي ينتشر في الغلاف الجوي ثم يضرب السطح هذا الإشعاع يأتي من نصف الكرة الأرضية بالكامل ، ينعكس التدفق الشمسي المنتشر من الأسطح المحيطة قبل الوصول إلى سطح الأرض. على سبيل المثال ، إذا كنا قياس (أو التنبؤ) تدفق الشمس الطبيعي المباشر والتدفقات الشمسية الكلية على السطح الأفقي ، فمن الممكن حساب التدفق المباشر بعدة طرق منها طريقة اشراي (ASHRAE) لحساب شدة الإشعاع الشمسي المباشر والمبعثر الساقط على سطح الأرض في يوم صحو .وفق هذه الطريقة تعطى شدة الإشعاع الشمسي المباشر عند السقوط العمودي بالعلاقة الآتية :

$$H_{Bn} = Ae^{-B/\sin\alpha} = Ae^{-B m} \quad (6 - 1)$$

حيث:

$H_{Bn}$  : شدة الإشعاع الشمسي المباشر عند السقوط العمودي [  $w/m^2$  ] .

$A$  : شدة الإشعاع الشمسي الظاهري عند كتلة هواء تساوي الصفر [  $w/m^2$  ] .

$B$  : معامل توهين الغلاف الجوي.

فإن الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على السطح الأفقي، يحسب من العلاقة الآتية :

$$H_{Bn} = H_{Bn} \sin\alpha \quad (7 - 1)$$

تعطي طريقة ارشاي (ASHRAE) علاقة مبسطة لحساب الإشعاع المبعثر من مكونات الغلاف الجوي، والساقط على السطح الأفقي كنسبة من الإشعاع الشمسي المباشر عند السقوط العمودي كما يأتي:

$$H_d = CH_{Bn} \quad (8 - 1)$$

حيث:

$H_d$  : الإشعاع المبعثر من السماء.

C : معامل تبعثر (تشتت) الإشعاع الشمسي، معطى في الجدول (1-1) .

و تُعطى شدة الإشعاع الشمسي الساعي الكلي الساقط على السطح الأفقي بالعلاقة الآتية:

$$H = H_B + H_d \quad (9 - 1)$$

تغير قيم الثوابت A, B يتوقف على التغير السنوي للمسافة بين الأرض والشمس والتغير الفصلي في محتوى الغلاف

الجوي من الرطوبة، ومكونات أخرى، يعطي الجدول (1-1) قيم الثوابت A, B, C [ 3].

الشهر	C [لابعدي]	B [لابعدي]	A [W/m2]
جانفي	0.058	0.142	1230
فيفري	0.060	0.144	1215
مارس	0.071	0.156	1185
أفريل	0.097	0.180	1136
ماي	0.121	0.196	1104
جوان	0.134	0.205	1088
جويلية	0.136	0.207	1085
أوت	0.122	0.201	1107
سبتمبر	0.092	0.177	1152
أكتوبر	0.073	0.160	1193
نوفمبر	0.063	0.149	1221
ديسمبر	0.057	0.142	1234

جدول (1-1) : قيم الثوابت A, B, C في كل شهر وفق طريقة ارشاي .

## ت- الإشعاع الشمسي على السطح المائل:

من الضروري في التطبيقات الشمسية جميعها حساب شدة الإشعاع الشمسي الساقط على السطح المائل . يتألف الإشعاع الشمسي الساقط على السطح المائل بزاوية  $S$  عن السطح الأفقي من ثلاث مركبات هي: الإشعاع المباشر ، الإشعاع المبعثر من السماء و الإشعاع المنعكس عن سطح الأرض والسطوح المجاورة للسطح المائل. يبين الشكل (1-4) مركبة الإشعاع المباشر العمودي على كل من السطح الأفقي والسطح المائل التي تعطى من خلال الشكل بالعلاقتين الآتيتين:

$$H_{Bt} = H_{Bn} \cos \theta \quad (10 - 1)$$

$$H_B = H_{Bdn} \cdot \cos \theta_z \quad (11 - 1)$$

حيث:

$H_{Bn}$  : شدة الإشعاع في حالة السقوط العمودي على السطح.

بإجراء عملية القسمة والإصلاح للمعادلتين (9-1) و (10-1) نجد العلاقة التي تعطي مركبة الإشعاع المباشر الساقط على السطح المائل :

$$H_{Bt} = H_B \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (12 - 1)$$

حيث:

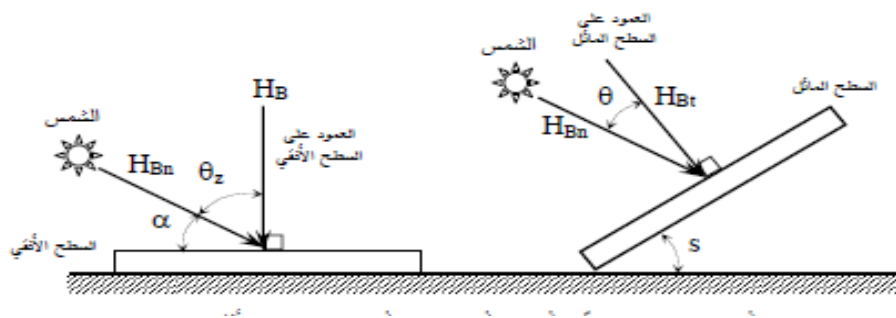
$H_{Bt}$ : مركبة الإشعاع المباشر على السطح المائل.

$$R_B = \frac{H_{Bt}}{H_B} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (13 - 1)$$

حيث:

$R_B$ : معامل ميل الإشعاع المباشر

علماً أن الزاوية  $\theta$  يجب ان تكون اقل من  $90^\circ$  ، وفي حالة كانت أكبر من ذلك يوجد مركبة إشعاعية مباشرة ، وتبقى فقط المركبة الناتجة عن التبعثر والانعكاس كما يبينه الشكل (1-4). [2].



الشكل (1-4) : مركبة الإشعاع الشمسي المباشر على السطح الأفقي و المائل [3]

### ➤ أجهزة قياس الإشعاع الشمسي:

الهدف من أجهزة قياس الإشعاع الشمسي هو تحديد القيم اللحظية، والقيم الكلية لكل من الإشعاع المباشر، والمبعثر والكلبي الساقط على سطح ما. يتم تحديد قيمة الإشعاع الشمسي الساقط بواسطة تقنيات القياس المناسبة المتضمنة الاستفادة من التأثيرات الكهروحرارية و الكهروضوئية. تستخدم عادة أجهزة إلكترونية لتسجيل معطيات الإشعاع الداخلة من أجل إعطاء القيم اللحظية بالإضافة إلى القيم الكلية الساعية واليومية للإشعاع. من بين هذه الاجهزة جهاز البيرانومتر و البيرهيليوميتر. يبين الشكل (1-5) النوع النموذجي من الأنواع المختلفة لجهاز البيرانومتر (Pyranometer) الذي يقيس الإشعاع الشمسي الكلي (مباشر ومبعثر)، وهو عبارة عن جهاز يقيس الإشعاع من القبة السماوية (18 درجة) حيث يعبر بشكل عام في الوضع الأفقي، لذلك من أجل زوايا ميل مختلفة لابد من إجراء التصحيح المناسب. إن الكاشف في جميع أنواع جهاز البيرانومتر، يجب أن يملك استجابة مستقلة لطول موجة الإشعاع على كامل طيف الإشعاع الشمسي، بالإضافة لذلك، فإنه يجب أن يملك استجابة مستقلة لزوايا سقوط الإشعاع الشمسي. كما أن الكاشف في معظم هذه الأنواع مغطى بنصف أونصفي كرة متحدة المركز من الزجاج الشفاف لحمايته من الرياح ومن العوامل الخارجية [6,2].



الشكل (1-5) : مختلف أجهزة قياس شدة الإشعاع الشمسي. [ 4 ]

#### 4-1 خاتمة :

في هذا الفصل تحدثنا بداية عن الشمس باعتبارها هي المصدر الرئيسي لكل الطاقات المتجددة، ثم بعد ذلك تحدثنا بإسهاب عن الإشعاع الشمسي وبيّنا أنواعه وكيفية قياسه. وسنقوم في الفصل القادم بالتحدث عن الخلايا الشمسية الكهروضوئية مبرزين أهميتها و أنواعها بالتفصيل.



# الفصل الثاني

الدراسة التقنية للخلايا الكهروضوئية

## 1-2 مقدمة :

من المعروف أن الطاقة الشمسية الكهروضوئية هي الطاقة الأكثر صداقة للبيئة وهي تعتمد أساساً في مصدرها على الشمس المتوفرة في كل مكان وخاصة في بلدنا الجزائر وبالأخص منطقة ورقلة محل الدراسة. يتم في هذا النوع من الطاقة تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء بواسطة خلايا كهروضوئية مختلفة الأنواع والأشكال. في هذا الفصل سنتطرق بالتفصيل إلى مختلف أنواع هذه الخلايا بداية من مبدأ عملها وصولاً إلى خصائصها الكهربائية والعوامل المناخية التي تؤثر عليها.

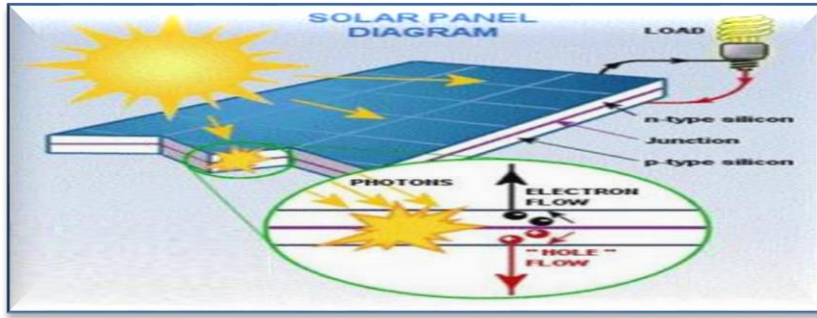
## 2-2 الخلايا الشمسية الكهروضوئية:

إن كلمة الكهروضوئية هي ظاهرة توليد قوة محركة كهربائية نتيجة امتصاص الأشعة الضوئية ، وتنقسم كلمة Photovoltaïque إلى شقين، النصف الأول من الكلمة Photo مشتق من كلمة يونانية "Photos" تعني الضوء، بينما النصف الثاني Voltaïque مشتق من اسم أحد أشهر علماء الكهرباء، العالم "Volta" وهي الكهرباء. تعرف الخلية الكهروضوئية بأنها أداة إلكترونية مصنوعة من أشباه الموصلات يتشكل عبرها فرق في الجهد عند تعرضها للضوء، ويتولد عنها تيار كهربائي ترتبط قيمته بمعامل امتصاصها للضوء، وعند توصيل حمل كهربائي ما (مصباح إنارة مثلاً) بين طرفيها فإن التيار الكهروضوئي المار وبالتالي الطاقة الكهربائية الناتجة تستطيع تشغيل المصباح.

### • محاسن استخدام الطاقة الكهروضوئية :

- ✓ هذه الخلايا بسيطة ولا تتضمن أي أجزاء متحركة.
- ✓ لا تتطلب مولدات القدرة الشمسية أي صيانة تكنولوجية، وبالتالي لا توجد تكلفة عملية للصيانة أو التشغيل .
- ✓ لا تحتاج إلى تزويد بالوقود.
- ✓ لا تطرح أية فضلات تضر بالبيئة.
- ✓ يمكن استخدامها لمدة طويلة.

يبين الشكل (1-2) خلية شمسية أثناء العمل، حيث أن أي خلية شمسية مثالية تتألف من غطاء زجاجي لحتم الخلية و إلكترودين أحدهما خلفي والآخر أمامي وطبقات من شبه المعدن، حيث تكون أشعة الشمس مجمعة على الإلكترونيات لأمامي فيمر التيار الكهربائي عائداً إلى الخلية الشمسية عبر الإلكترونيات الخلفي [ 2 ] .



الشكل (1-2) : آلية عمل الخلية الشمسية الكهروضوئية

## 1-2-2 بنية الخلية الكهروضوئية :

يعود الفضل في اكتشاف الخلايا الكهروضوئية إلى العالم الفرنسي " Becquerel " حيث اكتشف في سنة 1839 أن بعض المواد تنتج تيار كهربائي صغير عند تعرضها للضوء. وبعد إجراء عدة تطورات على هذه المواد، تم الإعلان عن أول خلية شمسية مصنعة من طرف مجموعة من العلماء الأمريكيين في عام 1941 ، ولكن لم يبدأ الاستخدام الفعلي لها إلا في عام 1958 حيث اعتمد على الخلايا الشمسية كمصدر رئيسي للكهرباء في التطبيقات الفضائية. وقد بدأ التفكير الجدي في توسيع استخدام الخلايا الشمسية لتوليد الكهرباء لمختلف الاستخدامات كبديل عن المصادر التقليدية للطاقة ابتداءً من العام 1975. [12]

تصنع الخلايا الشمسية بجمع أو ضم نوعين من أشباه الموصلات أحدهما سليبي والآخر إيجابي، حيث أن نصف الناقل الإيجابي يصنع لاحتواء أيونات سلبية ونصف الناقل السليبي يصنع لاحتواء أيونات إيجابية، وهذه الأيونات الإيجابية والسلبية تهيئ البيئة الضرورية لمرور تيار كهربائي يتحرك ضمن الخلية الشمسية، والضوء الصادر من الشمس هو عبارة عن مجموعة من جزيئات الطاقة الصافية المسماة فوتونات. تتدفق هذه الطاقة الصافية من الشمس على الخلية الشمسية فتقوم هذه الفوتونات باختراق نصف الناقل وتضرب ذراته بشكل عشوائي مما يؤدي إلى تأين ذرات نصف الناقل حيث يؤدي ذلك إلى إفلات إلكترون خارجي من مداره محولاً طاقته إلى طاقة حركة للإلكترون، وحركة هذه الإلكترونات بطاقتها المكتسبة تسمى بالتيار الكهربائي وهو من النوع المستمر حتماً. وكلما كان الضوء أقوى، كلما كان تدفق الكهرباء أكبر أي شدة التيار المتولد أعلى [3].

إنّ المادة الأكثر استخداماً في الخلايا الكهروضوئية هي السليكون، وهي مادة شبيهة بموصل للتيار الكهربائي نجدها

عادةً في الرمال (الكوارتز)، ومن أسباب اختيار المواد السليكونية في تصنيع الخلايا الكهروضوئية:

1- أنه عالي التوصيل الحراري.

2- الثبات الجيد مع الطقس المحيط.

## 2-2-2 مكونات الخلية الكهروضوئية وآلية عملها:

تتكون بنية الخلايا الكهروضوئية من أنصاف النواقل المشوبة وهي من النوع (P) و النوع (N) ويمكن تصنيف هذه المواد كالتالي :

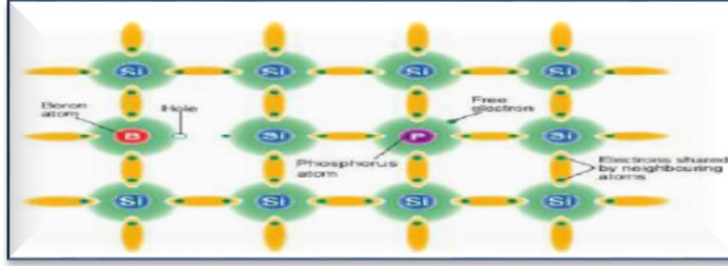
### • أنصاف النواقل المتجانسة من النوع (N) :

إن فائدة نصف الناقل النقي تكون تقريباً محدودة ولكن إذا ما أضفنا بعض الشوائب بكميات محدودة ومدروسة يصبح النصف ناقل متعدد الاستعمال، ويسمى في هذه الحالة نصف الناقل المشوب. عندما تحل ذرات مادة خماسية الإلكترونات (فسفور، زرنيخ، الانتيمون) محل ذرات من السيليكون في الشبكة البلورية، فإن أربعة إلكترونات من ذرة خماسي التكافؤ تتعادل مع أربعة إلكترونات لذرات السيليكون وتبقى للذرة الخماسية إلكترون تكافؤ لا يجد له مكاناً بين الروابط المشتركة ليشغله، فكل ذرة شائبة تؤدي إلى إلكترون فائض حر من حيث المكان وليس من حيث الشحنة (نصف الناقل معتدل كجميع ذراته).

ويمكن لتلك الإلكترونات الفائضة أن تتحرر بسهولة معطية ناقلاً مشوباً مانح مما يزيد في ناقلية البلورة في الدرجة العادية من الحرارة. [3]

### • أنصاف النواقل المتجانسة من النوع (P) :

عندما تحل الذرة المشوبة ذات الثلاث إلكترونات (البروتون) مع ذرات من السيليكون في الشبكة البلورية فإن الذرة المشوبة ترتبط بثلاث روابط مع ذرات السيليكون الأربعة المحيطة بها. ولكن تحتاج هذه الذرة إلى إلكترون رابع لتشكيل الرابطة الرابعة، إن نقص الإلكترون الرابع يحدث ثقباً واحداً موجبا من حيث المكان وليس من حيث الشحنة ولا يزال الناقل المشوب معتدلاً مع وجود ثقب غير مشغولة بالإلكترونات ويسعى إلى قبول إلكترونات يملأ بها ثقبه الفارغة معطياً ناقلاً مشوباً من النوع (P). [3] .



الشكل (2-3) : عملية تطعيم السيليكون بإضافة البورون والفسفور .

● الوصلة P-N:

السليكون السالب يحتوي على إلكترونات حرة سالبة وأيونات موجبة. تمثل الذرات التي فقدت هذه الإلكترونات الذرات المشابهة والسليكون الموجب يحتوي على فجوات موجبة تحتاج إلكترون حر يملأها، عند عمل وصلة من السليكون السالب والسليكون الموجب فإن الإلكترونات الحرة في الجزء الموجب تنتقل عبر سطح الوصلة وذلك يؤدي إلى ما يلي:

- عند امتلاء الوصلة الموجبة بالإلكترون سالب تصبح الذرة المرتبطة بها الفجوة أيون سالب.

- الإلكترون الذي هرب من ذراته في الجزء السالب ليملاً فجوة موجبة في الجزء الموجب يترك خلفه أيون موجب [ 3 ]

بالقرب من سطح الوصلة يتكون على جانبيها حاجز من الأيونات الموجب (الجزء السالب) ومن الأيونات السالبة

(الجزء الموجب) يمنع هذا الحاجز مرور أي إلكترونات أو فجوات أخرى عبر سطح الوصلة، وذلك هو وضع الاستقرار

للوصلة في الظروف العادية لها.

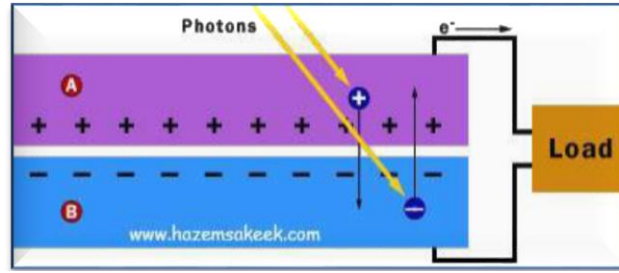
يتشكل في الوصلة (P-N) عند التعرض للضوء حقل كهربائي داخلي، بامتصاص الإشعاع الشمسي تنفصل

على جانبي الطبقة الحدية أزواج من الإلكترونات والثقوب وتنتقل وينشأ عند سطوح التماس للمعدن منبع توتر يعاكس

الحقل الداخلي ويساويه بالشدة، وبالتالي

يؤدي تطبيق هذا الجهد في دائرة كهربائية خارجية مغلقة إلى نشوء تيار كهربائي مستمر. وذلك كما هو موضح

في الشكل (2-4). [ 3 ] .

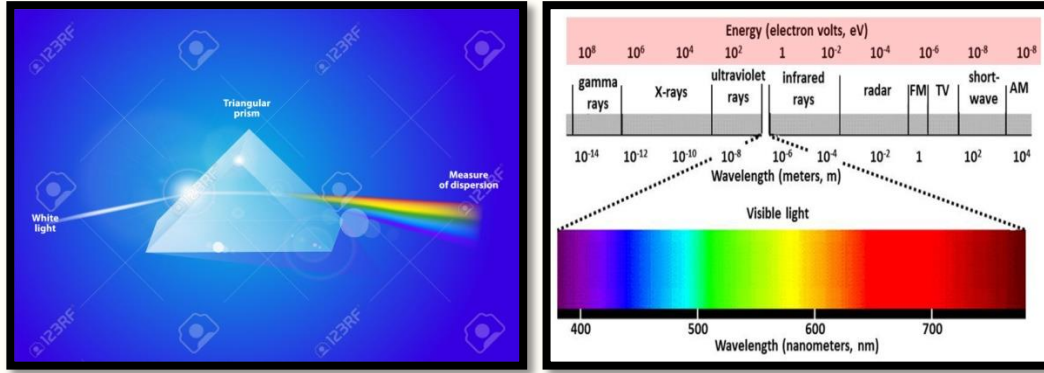


الشكل (2-4) : المجال الكهربائي المتولد في الخلية الشمسية أثناء العمل.

## 2-3 طاقة الفوتونات الضوئية الساقطة على الخلايا الشمسية :

1- مقدار طاقة ضوء الشمس الممتص من قبل الخلايا ومبدأ عملها :

تعتبر فوتونات الضوء المرئي الذي يمثل الطيف الكهرومغناطيسي المكون من أطوال موجية مختلفة وهي التي تعرف بألوان الطيف ويمكن فصل هذه الألوان على حسب أطوالها الموجية باستخدام المنشور. يمثل كل لون من ألوان الطيف طول موجي محدد ولكل طول موجي طاقة محددة يحملها الفوتون الذي يسقط على الخلية المكونة كما هو موضح في الشكل (2-5)، لذلك فان هذه الفوتونات لا تمتلك الطاقة الكافية لتحرير إلكترون (فجوة) في الخلية، حيث تنفذ هذه الفوتونات عبر الخلية ولا يتم امتصاصها وعدد بسيط من الفوتونات الضوء تمتلك الطاقة الكافية والتي تصل طاقتها 1 إلكترون فولت (1 eV) وهي الطاقة اللازمة لتحرير إلكترون من ذرات مادة السليكون. هذه المادة مكونة من ذرات موزعة على مستويات طاقة مختلفة التي يتحول إلى إلكترون وبدوره ينتقل من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة أعلى والمسافة بينهما تسمى بفجوة الطاقة فهي مميزة لكل مادة وتستطيع أن تحدد أيضا إذا ما كانت المادة موصلة أو عازلة أو شبه موصلة للتيار الكهربائي. عندما تضرب أشعة الشمس خلية شمسية، تقوم الفوتونات من ضوء الشمس الممتص بإخراج الإلكترونات من ذرات الخلية. ثم تتحرك الإلكترونات الحرة عبر الخلية، مما يؤدي إلى خلق الثغرات وتعبئتها الخلية. إنهما حركة الإلكترونات والثغرات التي تولد الكهرباء. العملية الفيزيائية حيث تُعرف الخلية الكهروضوئية التي تحول ضوء الشمس إلى كهرباء باسم التأثير الكهروضوئي. تنتج الخلية الكهروضوئية الواحدة ما يصل إلى 2 واط من الطاقة، وهي صغيرة جدًا، لذلك يتم توصيل العديد من الخلايا الكهروضوئية مع بعضها البعض لإنتاج طاقة أكبر. [6] [10] [9].



الشكل (2-5) : الأطوال الموجية ومستوى الطاقة لكل لون من ألوان الطيف. [ 5 ]

### ب-المقاومة الكهربائية لمادة السليكون:

ليست الشوائب والمواد السليكونية التي تدخل في تركيب الخلية هي فقط المسؤولة على التقليل من كفاءة الخلية الشمسية وذلك عند انتقال الإلكترونات من مستويات الطاقة الخاصة بها، بل المقاومة الكهربائية للمادة السليكونية في حد ذاتها هي أيضا تقوم بتقليل من كفاءة الخلايا الشمسية وذلك بفقد كمية من الطاقة عند مرور التيار الكهربائي الناتج. [ 6 ] [11].

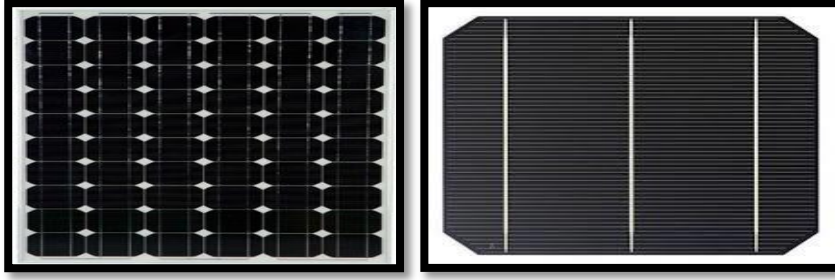
### 2-4 المواد المستخدمة في الخلايا الشمسية الكهروضوئية وأنواعها :

يتم تصنيع الخلايا الكهروضوئية من مواد شبه موصلة كالسليكون البلوري ، وتوجد ثلاثة أنواع رئيسية من خلايا الشمسية المتوفرة حاليا منها الخلية الشمسية وحيدة التبلور، أما النوع الثاني فيدعي بالخلايا متعددة البلورات والثالث فيدعي بالمورفية أو خلايا الفيلم الرقيق. [10]

#### أ- خلايا أحادية التبلور :

كفاءة هذا النوع من الخلايا من 11 % إلى 16 % وهو الأعلى مقارنة بالمواد الأخرى إلا أن ثمنها غالٍ مقارنة

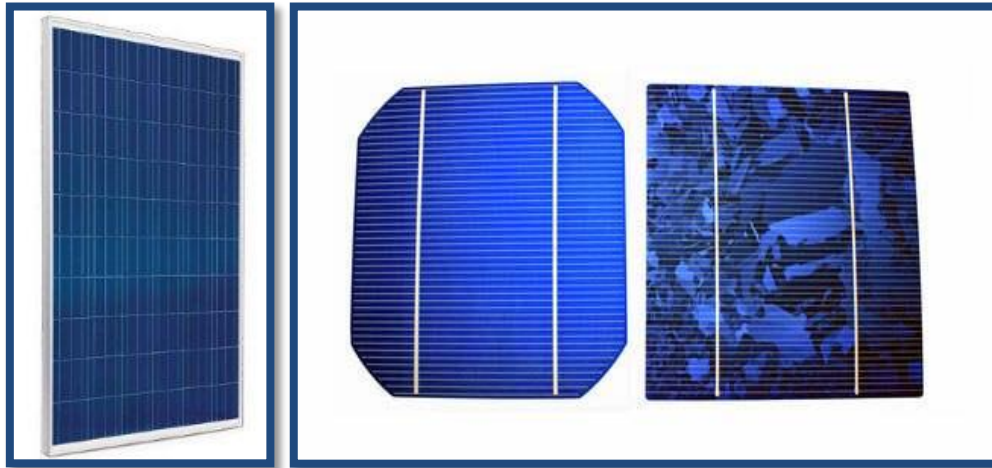
بالنوعين الآخرين مما يجد من إستعمالها في الحياة اليومية. [ 6 , 10 ]



الشكل (2-6) : الخلايا أحادية التبلور. [6]

### ب- خلايا عديدة التبلور :

وهي عبارة عن رقائق من السيلكون كشطت من بلورات السليكون الأسطوانية ثم تعالج كيميائيا في أفران لزيادة خواصها الكهربائية وبعد الطلاء تغطي أسطح الخلايا بمضاد الانعكاس لكي تمتص الخلايا أشعة الشمس بكفاءة عالية وكفاءة هذا النوع من 9 % إلى 13 % [6].

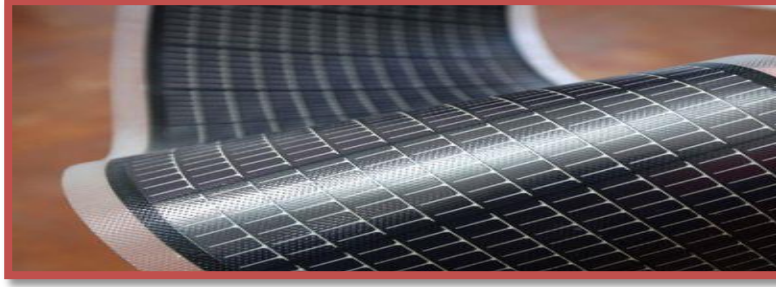


الشكل (2-7) : الخلايا عديدة التبلور. [7]

### ت- الخلايا المورفية أو خلايا الفيليم الرقيق ( thin film )

الخلايا المورفية أو خلايا الفيليم الرقيق وفيها مادة السليكون تترسب على عدة طبقات رقيقة على أسطح من الزجاج أو البلاستيك، لذلك فإن صنع هذه الخلايا يتم بتقنية سهلة ولكن كفاءتها اقل من 3 % إلى 6 % وأسعارها أيضا أقل وهي مناسبة لتطبيقات من 40 واط فما أقل. [6, 10]





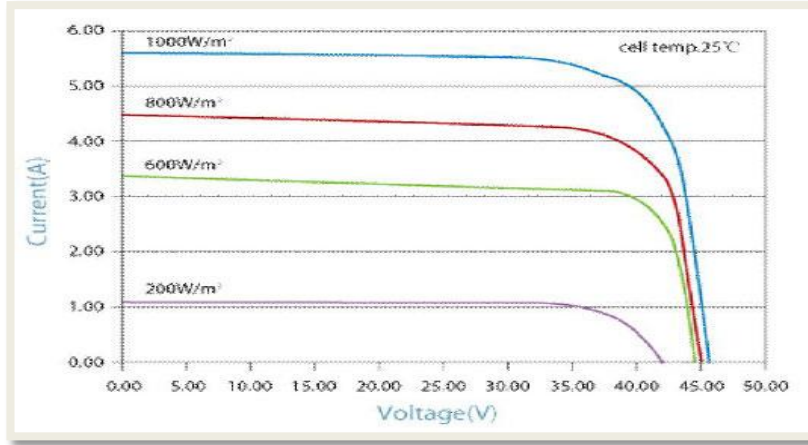
الشكل (2-8) : خلايا الفيلم الرقيقة. [8]

## 5-2 تأثير العوامل المناخية على الخلية الشمسية الكهروضوئية:

الغبار، مقاومة السليكونية للخلية، إرتفاع درجة حرارتها وكذا درجة حرارة المحيط، الصواعق الرعدية، الرطوبة وشدة الإشعاع الشمسي المرتفع وغيرها ومن العوامل التي تؤثر بشكل سلبي على قيم خرج الخلية الشمسية الكهروضوئية ( الجهد - التيار - ونقطة الطاقة العظمى).

### أ- تأثير شدة الإشعاع الشمسي على خرج الخلية الشمسية:

إن الإشعاع الشمسي العالي يؤثر سلباً على أداء الألواح الشمسية وكذا خصائصها الكهربائية كما هو موضح في الشكل (2-9) . يزداد تيار الخرج للخلية الشمسية كلما زادت شدة الإشعاع الشمسي، أما جهد الدائرة المفتوحة للخلية الشمسية وذلك لأن هذا الجهد يتعلق بنوع المادة التي تصنع الخلية الشمسية (لكل مادة قيمة جهد معينة) ودرجة حرارتها. أما تيار دائرة القصر فإنه يرتفع خطياً مع شدة الإشعاع الشمسي وتعتمد قيمته على مساحة الخلية الشمسية. وتؤثر شدة الإشعاع الشمسي بشكل غير مباشر على جهد وتيار الخلية الشمسية كون ارتفاع قيمة شدة الإشعاع الشمسي يؤدي إلى ارتفاع حرارة الخلية الشمسية [3, 12].

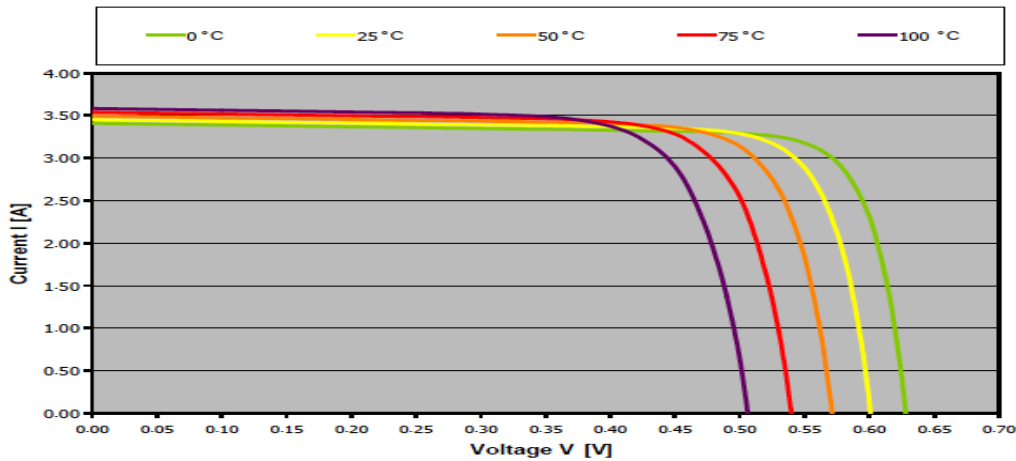


الشكل (2-9) : تأثير شدة الإشعاع الشمسي على منحنيات التشغيل للخلايا الشمسية [9]

**ب- تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على جهد و تيار الخلية الشمسية:**

كلما زادت درجة حرارة الخلية كلما انخفض أداؤها فزيادة درجة الحرارة تؤدي إلى تقلص فجوة النطاق ، فيزداد امتصاص الضوء الساقط الذي يزيد بشكل طفيف في تيار قصر للدارة . وكذلك انخفاض في ( $V_{oc}$ ) مما يؤدي إلى انخفاض في الأداء . ينخفض جهد الدائرة المفتوحة بمعدل  $2.3[mV/°C]$  عند ثبات شدة الإشعاع الشمسي كما أن تيار دائرة القصر يزيد عن قيمته عند درجة حرارة  $25 [°C]$  بنسبة  $0.05 [%]$  كلما ارتفعت درجة حرارة الخلية درجة مئوية واحدة .

[3]



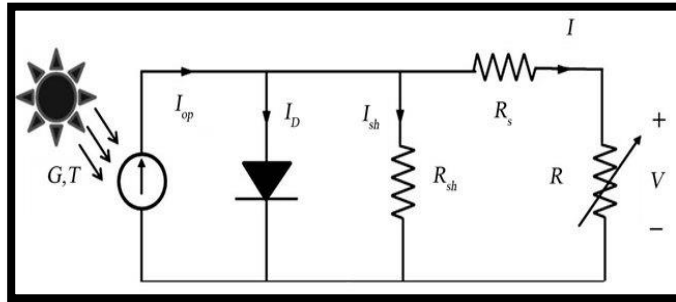
الشكل (2-10) : تأثير حرارة الخلية على منحنيات التشغيل للخلايا الشمسية.

**ت- تأثير الرياح على خرج الخلية الشمسية:**

إن حركة الرياح لا تؤثر بشكل مباشر على خرج الخلية الشمسية ولكن تؤثر على حرارة السطح للخلية الشمسية وبالتالي الحرارة الداخلية ها .ومن المعلوم أن حركة الرياح تؤثر على تيارات الحمل الحراري وبالتالي تعمل على رفع معامل انتقال الحرارة بالحمل والذي بدوره يساعد في انتقال الحرارة من سطح الخلية إلى المحيط الخارجي وهذا يخفض الحرارة الداخلية للخلية وبالتالي يحسن من كفاءتها [ 3 ] .

## 2-6 الدارة المكافئة للخلية الشمسية:

الدارة المكافئة للخلية الشمسية تمثل بمنبع تيار وديود، وتمتلك مقاومة تسلسلية ذاتية وأخرى تفرعية مترابطة معها كما هو مبين في الشكل(2-11). الديود يرمز لعبور التيار باتجاه واحد في نصف الناقل المكون لهذه الخلية.  $R_s$  (المقاومة التسلسلية وهي المقاومة الذاتية لشبكة الموصل المصنوعة منه الخلية ومقاومة الموصلات المعدنية والتوصيلات الكهربائية وكذلك الوصل بين المعدن وشبه الموصل. أما المقاومة الفرعية ( $R_{sh}$ ) فتحدث نتيجة تسرب التيار خلال الوصلة (N-P) وذلك بسبب العيوب أو شوائب غير مرغوبة في منطقة الوصلة. [ 3 ]



الشكل (2-11) : الدارة الكهربائية المكافئة للخلية. [ 10 ]

## 2-7 محددات الخلية الشمسية:

➤ توتر الدائرة المفتوحة (التوتر على فراغ)  $V_{oc}$  :

ويعطى بالعلاقة .

$$V_{ov} = \frac{KT}{q} \ln \left( \frac{I_{pf} + I_o}{I_o} \right) = \frac{KT}{q} \left[ \ln \left( \frac{I_{pf}}{I_o} + 1 \right) \right] \quad (7 - 2)$$

تيار القصر  $I_{sc}$  :

في الدائرة القصيرة تكون المقاومة معدومة وبالتالي لا يمر التيار عبر الديود بل عبر الخلية نفسها وأسلاك التوصيل مباشرة (الطريق الأقصر والأسهل للتيار) وعليه فإن :

$$I_0 = 0 \quad (8 - 1)$$

$$I_{cell} = I_{ph}$$

$$I_{sc} = I_{cell} = I_{ph}$$

➤ معامل الامتلاء  $FF$  :

يعرف بالعلاقة التالية:

$$\frac{V_{Mpp} \times I_{Mpp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = FF \quad (9 - 2)$$

$V_{MPP}$  : الجهد عند نقطة الاستطاعة العظمى.

$I_{MPP}$  : التيار عند نقطة الاستطاعة العظمى.

$V_{OC}$  : توتر الدارة المفتوحة.

$I_{SC}$  : تيار القصر.

➤ الاستطاعة الأعظمية للخلية الشمسية:

وتعطى بالعلاقة التالية :

$$P_{MPP} = V_{MPP} \times I_{MPP} \quad (10 - 2)$$

$$P_{MPP} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (11 - 2)$$

مردود الخلية الشمسية :

يعتبر المردود المعامل الأكثر استخداماً لمقارنة أداء خلية شمسية مع أخرى، وهو نسبة طاقة الخرج من الخلية إلى

طاقة الدخل من الشمس. وعلى الرغم من أن المردود يعكس أداء الخلية نفسها إلا أنه يتغير حسب طيف وشدة الإشعاع

الشمسي الوارد وكذلك درجة الحرارة الخلية، لذلك يتم قياسه في شروط الاختبار النظامية وهي:

$$H = 1000 [W/m^2] \text{ شدة الإشعاع الشمسي}$$

- درجة حرارة الخلية  $T = 25 [C^\circ]$

- كتلة الهواء  $A_m = 1.5$

يعطى المردود بالعلاقة التالية

$$\eta = \frac{P_{max}}{H * S} = \frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{H * S} \quad (12 -)$$

$$\frac{V_{oc} * I_{sc} * FF}{P_{in}}$$

حيث:

S : مساحة الخلية الكهروضوئية (أو اللوح).

$P_{max}$  : القدرة الكلية للإشعاع الشمسي الداخل إلى الخلية الشمسية.

$\eta$  : مردود الخلية

**8-2 خاتمة :**

قمنا في هذا الفصل بالتركيز على الخلايا الشمسية الكهروضوئية كونها المكون الرئيسي للنظام الكهروضوئي ابتداءً من تاريخ اكتشافها وصولاً إلى خصائصها الكهربائية. كما تحدثنا في هذا الفصل بصفة مختصرة نوعاً ما .

# الفصل الثالث

الغبار و تأثيره على الألواح الشمسية  
الكهروضوئية

### 3-1 مقدمة

تعتبر الظروف المناخية كارتفاع درجة الحرارة ونسبة الرطوبة وكذا الغبار أحد أهم القيود الرئيسية التي تؤثر سلباً على أنظمة الوحدات الكهروضوئية خصوصاً تلك المتواجدة في المناطق الصحراوية، ففي الواقع هذه المناطق تتميز بنوبات متكررة ودائمة للعواصف الرملية. لذلك لا يزال تضارب الآراء حول كمية إنتاج الوحدات الكهروضوئية في مثل هذه المناطق كما أنهم لم يصلوا بعد لتسجيل أدائها في مثل هذه الظروف .

إذاً سنحاول في هذا الفصل تشخيص الإشكالية التي تنجم عن تراكم الغبار على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية من خلال عرض وتحليل مجموعة من الأعمال العلمية السابقة في هذا المجال وعرض النتائج التي توصلت لها.

### 3-2 تعريف الغبار :

الغبار هو عبارة على جسيمات صغيرة جداً يقدر قطرها بأقل من  $500 \mu\text{m}$  ، ويتمثل في البكتريا، الفطريات، حبوب الطلع الصغيرة، خصلات الملابس و السجاد، الرماد البركاني، خلايا حيوانية ميتة والطين أو الوحل .... إن تراكم الغبار يعتمد على مختلف الظروف البيئية والطقس، الأنشطة البشرية، دخان السيارات، النشاط البركاني، تلوث الطبقات الجوية، الأنشطة الصناعية، تآكل الجدران والجبال بفعل العوامل الجوية والزوايا الطينية، لذلك فإن الغبار يختلف من منطقة إلى أخرى [5].

### 3-3 دراسات علمية سابقة :

إن تراكم الغبار على أسطح الألواح الشمسية الكهروضوئية له تأثير سلبي على أدائها، وكأنه يوم غائم خاصة في المناطق الصحراوية، مع ذلك فإن هذه المناطق هي الأكثر إنتاجاً للطاقة الشمسية الكهروضوئية نظراً لوفرة كمية الأشعة الشمسية على مدار السنة. ومع التفكير الجدي اليوم من قبل الحكومة الجزائرية و الدول الأوروبية في إنشاء حقول كبيرة في المناطق الصحراوية بغرض إنتاج الطاقة والكهرباء والاستفادة منها محلياً وكذا تصديرها للخارج، فإن تراكم الغبار سيعيق لا

محالة من عمل هذه الحقول بالتقليل من أداؤها، لذلك وجب إعطاء هذا الأمر الأهمية البالغة من خلال دراسات علمية أكاديمية والخروج بتوصيات من خلال النتائج المتحصل عليها ميدانياً.

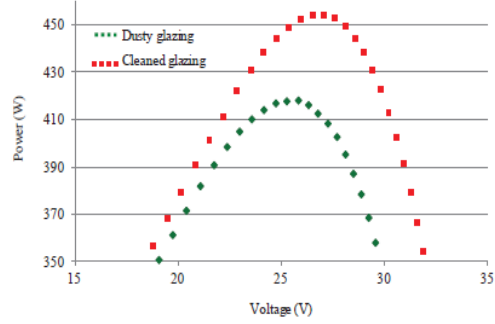
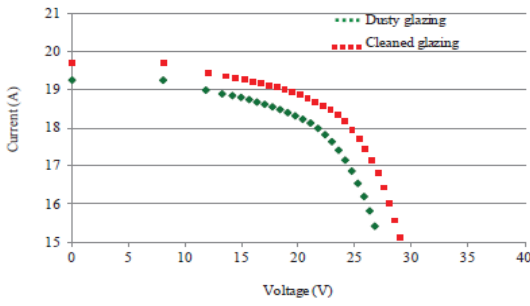
الملاحظ أن أغلب الدراسات العلمية إن لم نُقلُ كلها التي تتحدث عن تأثير الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية، أُجريت في المناطق الصحراوية الإفريقية ومناطق الخليج العربي والقلّة القليلة منها في الصحراء الأمريكية. وسنعرض فيما يلي مجموعة منها.

وُجد في دراسة علمية في مدينة بغداد أن الغبار الناجم عن حركة المرور أو الأنشطة الإنسانية والصناعية والزراعية، كذلك الملوثات من ترسبات وفضلات الطيور والأوراق المتساقطة وغيرها من الشوائب لا تقل أهمية عن تراكم جسيمات الغبار لوحدها على أسطح الألواح الشمسية الكهروضوئية وكل من هذا يتسبب في رفع درجة حرارة الخلية لمدة طويلة مما يؤدي إلى تدهورها وبالتالي تقل كفاءة إنتاجها. كما انه تبين لهم انه لا يمكن للألواح أن تكون مظلمة لأن أقل جزء منها إذا ظلّ قد يؤدي إلى انخفاض في أداؤها بنسبة تقدر ب 50% [5] [6]. كما أن الظروف الجوية مثل الرياح العالية أو السحب الممطرة التي تحول الطقس إلى بارد أو مغبر فتقلل من الإشعاع الشمسي وبالتالي يقل إنتاج طاقة الألواح المستعملة .

وفي دراسة أخرى لتأثير الغبار على الألواح الشمسية في جامعة العربية السعودية كلية الميكانيك والطاقة البترولية للباحث محمد على أشارت إلى أن تأثير الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية يقلل من أداؤها بنسبة 50% ذلك لمدة ستة أشهر، تم فيها استعمال جهاز مُتَعَقِّب الشمس الذي يعمل على التقليل من تراكم الغبار على أسطح الألواح بنسبة 50% في الوقت الذي تصل مدة القياس لذروتها [7]، وأيضاً أشارت هذه الدراسة إلى أن هبوب عواصف رملية يتسبب في حجب لأشعة الشمس مما يُقلل نفاذية الضوء الممتص من قِبَل الخلايا الكهروضوئية وهذا مشكل كبير خاصة في المناطق الصحراوية ، كما ركزت الدراسة على قياسات خرج التيار وجهد الألواح الشمسية المثبتة على زاوية 30° والنتيجة بيّنت أن كفاءة إنتاج الطاقة انخفضت ب 60 %، لذلك ينصح بتنظيف الألواح على الأقل مرة في الأسبوع أما في حال حدوث عاصفة رملية يجب تنظيفها على الفور [7] .



وفي دراسة حديثة أجريت بالصحراء الجزائرية من طرف سماوي إسماعيل مع فريقه والذي قام فيها بدراسة تأثير تراكم الغبار على مقدار الأشعة الممتصة من طرف الألواح الشمسية الكهروضوئية مثبتة بزاوية ميل  $32^\circ$  طول السنة، وقد خلُص في النهاية أن نسبة نقصان الأشعة الشمسية تصل إلى 8% في حال تعرض هذه الألواح لتراكم الغبار لعدة أشهر دون تنظيفها [20]



شكل (3-1) : النتائج المتحصل عليها من طرف

سماوي إسماعيل [ 20 ]

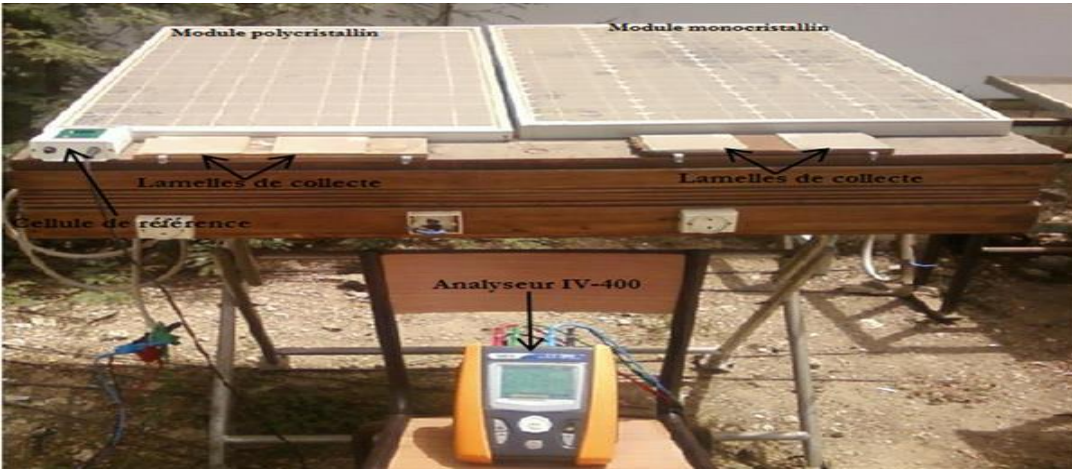
وفي دراسة أخرى أجريت في الدوحة بقطر، قام إبراهيم عيسى وفريقه بدراسة تأثير شكل ذرات الغبار وكذا خصائصها الفيزيائية على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية.



شكل (3-2) : الألواح قبل وبعد تراكم الغبار في بحث إبراهيم عيسى [ 21 ]

حيث قام بإجراء مجموعة من التحاليل المخبرية لعينات من الغبار باستعمال وسائل جد متطورة كالمجهر الإلكتروني الدقيق، أشعة X ، الأشعة فوق البنفسجية ... للكشف عن مختلف أحجام ومكونات الغبار بمنطقة الدوحة بقطر. وقد خلص إلى أن نفاذية زجاج الألواح الشمسية للضوء قد نقصت بنسبة 26% مقارنة بالألواح النظيفة. [21]

وفي أطروحة أبا بكر ندياي لنيل شهادة الدكتوراه بالمدرسة العليا متعددة التقنيات بجامعة شيخ أنتا ديوب بداكار والتي يتحدث في جزء منها على تأثير تراكم الغبار على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية بالمناطق السواحلية، أين قام بتثبيت المنظومة المبينة في الشكل (3-3) ومقارنة النتائج المتحصل عليها بين لوحين مختلفين أحدهما أحادي البلورة والآخر متعدد البلورات تعرض كلاهما لنفس الظروف الجوية لمدة ستة أسابيع دون تنظيف. [ 1 ]



شكل (3-3) : منظومة القياس المثبتة من طرف أبا بكر ندياي [ 1 ]

وكان من بين النتائج التي تحصل عليها بأن قيمة تيار القصر إنخفضت بنسبة 30% بالنسبة لأحادي البلورة وب 35% بالنسبة لمتعد البلورات، كما أنه لاحظ أن إستطاعة الخرج إنخفضت هي الأخرى بنسبة 26% بالنسبة لأحادي البلورة وب 40% بالنسبة لمتعد البلورات. [1]

### 4-3 طريقة تأثير الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية :

ظاهرة الغبار هي ظاهرة جوية لا يمكن السيطرة عليها لحد كبير، فهي متكررة الحدوث، ويمكن أن تتكرر في اليوم الواحد، وهذا يعني أن إنتاجية الألواح المنصوبة في هكذا بيئات يمكن أن تنخفض بشكل كلي ، ويمكن أن يزداد الأمر سوءا

إذا اجتمع مع الغبار المتراكم فضلات محركات السيارات والمركبات والطيور والتي تحتوى على مواد وعناصر عضوية مختلفة، فعندما تتراكم هذه المواد كلها على الألواح الشمسية يمكن أن تنشئ طبقة عازلة على أسطح الألواح، وبالتالي تمنع انتقال الضوء إلى داخل الخلايا الشمسية ، وهذه الطبقة لا نستطيع تنظيفها بسهولة إلا بتواجد الماء. [10]

هذه الظاهرة موجودة في معظم البيئات الصحراوية ولكن تختلف على حسب الموقع وعلى حسب نوع الغبار المتناثر، وقد تتزايد ساعات تناثر الغبار لمدة طويلة، فعلى سبيل المثال بمدينة الكويت تستمر الحالة الجوية المغبرة لـ 27% من ساعات النهار وذلك من شهر ماي إلى أوت مما يسبب في انعدام الرؤية أحيانا. فللغبار خاصية أنه يتراكم على الأسطح المكشوفة مما يخلق طبقة فوقها، وتفيد التقارير الدراسية السابقة أنه توجد عوامل أخرى تتسبب في استمرار تراكم الغبار فلاكثر تثيرا هي قوى الجاذبية وسرعة الرياح واتجاهها و بلل السطح. أما الجاذبية فتزيد من سقوط كمية الغبار وترسبها على أسطح الألواح وتساعد في ذلك حركة الرياح البطيئة، بينما تساعد سرعة الرياح العالية على إزالة الغبار إذا كانت الرياح في الإتجاه المناسب. [10]

### 3-5 أساليب تنظيف الغبار المتراكم على الألواح الشمسية الكهروضوئية :

لا شك أن أكثر المشاكل التي تواجه الخلايا الشمسية هي مشكلة الغبار المتراكمة التي تعيق دخول الضوء إلى هذه الخلايا، فيقلل الغبار الإنتاج و يتكبد القطاع خسائر تهدد الإنتاج في هذا المجال والاستثمار به، علما أن تكلفة الخلية الشمسية ما زالت عالية، ولمواجهة هذه المشكلة يتطلب منا تنظيف هذه الألواح تكرار لرفع من إنتاج الطاقة فما يتبادر في ذهن أي إنسان هو طريقة اليدوية التقليدية لتنظيف هذه الألواح لكنها تطلب جهدا إنسانيا كبير ومع مرور الوقت يتراجع هذا الجهد رغما انه تساعد في ذلك شاحنات المياه التي تقوم برش حقول الألواح الشمسية ومع ذلك بقي هذه الطريقة تقليدية . فيضطر العديد من مهتمين بدراسة الألواح الشمسية إلى ابتكار أساليب لتنظيف بشكل تلقائي .

فباختصار تختلف أساليب التنظيف من شكل لآخر وذلك حسب الإمكانيات المتوفرة لدى مستعملي الألواح الشمسية فمنها :

#### - التنظيف التقليدي للألواح الشمسية :

تعتبر هذه الطريقة قديمة ومعروفة سهلة الفهم لكنها صعبة المهام فهي تعتمد على اليد العاملة سواء كان يدويا أو بواسطة الشاحنات الممتلئة بمياه التي تجوب حقول الألواح الشمسية وتقوم بغسلها لكن قد تكون مرة في الشهر أو أكثر

فهذه الطريقة مكلفة وأيضاً متعبة إضافتها إلى تباطؤها مما يؤدي إلى تناقص الإنتاج الطاقوي للألواح بسبب تراكم الغبار لمدة شهور.

#### - التنظيف باستعمال روبورتات :

بعد تطور والتنمية عبر العالم تم اختراع روبورتات مخصصة لتنظيف الألواح الشمسية فهي تختلف حسب تقنياتها فمنها الكبيرة والصغيرة والى غير ذلك، ومفهومها يكمن في التنظيف التلقائي للألواح الشمسية دون الحاجة للإنسان ومثال عن ذلك نجد عدة طلبة خريجي الجامعات ابتكروا طرق لتنظيف الألواح الشمسية منهم الطالب الفلسطيني مُسلم عبد اللطيف البرغوثي (24 عاماً) ، من جامعة بيرزيت في رام الله درس بتخصص "الميكاترونكس"، ابتكر "روبوت" ينظف لوحات الخلايا الشمسية دون الحاجة إلى تدخل بشري.



الشكل (3-4) التنظيف الآلي للألواح الشمسية .

#### - التنظيف الذاتي للوح الشمسي :

قد يكون الروبوت وسيلة تطور لتنظيف الألواح الشمسية لكن بتزايد المباحث وجدت طريق جديدة أكثر تطوراً إلا وهي التنظيف الذاتي للوح الشمسي التي ابتكرها الباحث الأردني ماهر ميمون الدارس تخصص هندسة الطاقة بجامعة الينوى بشيكاغو آلية لتنظيف الألواح الشمسية وهي تكنولوجيا التنظيف الذاتي للوح الشمسي، أي يعمل بشكل تلقائي عندما يتجمع الغبار على أسطح الألواح الشمسية وذلك خلال 60 ثانية وهي عبارة على ألواح زجاجية شفافة مركبة بما يسمى ب ( piézoélectrique film ) تُلصق أمام اللوح عند وجود تيار كهربائي تقوم بالتذبذب أو الاهتزاز مما يجعل كمية التراب المتواجدة عليه تسقط للأسفل .

فباختصار هنالك العديد من الطرق لتنظيف الألواح الشمسية دون الاعتماد على تنظيف اليدوي فالروبوتات أصبحت تحل محل الإنسان أثناء القيام بهذا العمل فتتنافس العديد من الباحثين إلى تحسين طرق التنظيف والهدف واحد هو رفع من إنتاج الخلايا الشمسية .

**3-6 خاتمة :**

في هذا الفصل تحدثنا على أهمية تأثير الغبار على أسطح الألواح الشمسية و تأكيد ذلك من خلال ماتوصلت إليه المباحث العلمية السابقة. وفي الأخير تطرقنا للبحث عن أساليب وطرق لتنظيف هذه الألواح أما في ما يخص نتائج تؤكد مدا تأثير الغبار على الألواح الشمسية وتفسيرها وتحليلها وحل للمشكلة فتحدث عنه في الفصل القادم (الفصل الرابع).

# الفصل الرابع

دراسة تأثير الغبار على الخصائص

الكهربائية للألواح الشمسية

الكهروضوئية

## 1-4 مقدمة :

في هذا الفصل، سنقوم بشرح جميع مراحل التجارب التي أجريت في إطار هذه المذكرة بالتفصيل . النتائج المتحصل عليها ستكون في الجزء الثاني من هذا الفصل والذي سنحاول أن نبرز فيه من خلال الجداول والرسومات البيانية والتعليق عليها، مدى تأثير تراكم الغبار على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية.

## 2-4 مراحل إجراء التجارب:

لقد تم في هذا البحث اعتماد المنهج التجريبي، حيث أجريت التجارب في مخبر الكهرباء لقسم الفيزياء بجامعة قاصدي مرياح ورقلة باستخدام أربعة ألواح شمسية كهروضوئية من نوع الكريستال متعدد التبلور فئة 55 واط مستعارة من مخبر الطاقات المتجددة في المناطق الصحراوية والجافة. خصائص هذه الألواح مبينة في الجدول (1-4).

55 Wc	الإستطاعة الأعظمية $P_{max}$
3.5 A	تيار القصر $I_{sc}$
22.2 V	الجهد في الفراغ $V_{oc}$
3.14 A	التيار عند نقطة الاستطاعة الأعظمية $I_{mpp}$
17.5 V	الجهد عند نقطة الاستطاعة الأعظمية $V_{mpp}$

جدول (1-4): الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية المستعملة في التجربة

تم تثبيت الأربعة ألواح، موجهة نحو الجنوب، بزاوية ميل ( $32^\circ$ ) وهي تساوي بالتقريب دائرة عرض مدينة ورقلة محل الدراسة، وهي زاوية الميل المثلى بالنسبة للألواح الثابتة خلال العام.

## 1-2-4 مرحلة تثبيت الألواح الشمسية الكهروضوئية:

كما ذكرنا سابقاً، فقد استعملنا في تجاربنا أربع ألواح تُثبت على هيكل حديدي قمنا بإجراء بعض التحسينات عليه ليتمكن من حمل الألواح الأربعة مجتمعة، والغرض من ذلك توفير نفس الظروف الجوية للألواح (شكل (1-3)).



شكل (4-1): الألواح الأربعة مثبتة على الهيكل الحديدي المعدل خصيصاً لهم.

#### 4-2-2 الأجهزة المستعملة في التجربة:

خلال إجراءنا للتجارب، قمنا باستعمال مجموعة من الأجهزة المتوفرة بمخبر الكهرباء وأخرى من خارج الجامعة. ففي تحديد جهة الجنوب، قمنا باستعمال بوصلة من نوع خاص وهي التي يستعملها البحارة في تحديد الاتجاهات لأنها لا تتأثر بالمجالات المغناطيسية الأخرى (شكل (3-2)).



شكل (4-2): الأجهزة المستعملة في تحديد إتجاه وزاوية ميل الألواح الشمسية.

أمّا بالنسبة لتحديد زاوية الميل، فقد استعملنا جهاز AcuAngle A-350 المبين في الشكل (4-2).

وفي ما يخص أجهزة القياس، فقد استخدمنا لهذا الغرض مجموعة من الأدوات والأجهزة، كـ"مقياس" أفومتر "المعرفة قيمة الجهد والتيار الكهربائي المنتج، وعليه تم استخدام حمولات كهربائية مناسبة، وهي عبارة عن مقاومات أومية متغيرة ذات قيمة



قصوى ( $R=33\Omega$ ). كما تم استخدام حساسات حرارية من النوع K لقياس درجة حرارة الألواح أثناء العمل وجهاز (Température mètre PHUWE) لقياس درجة حرارة الجو المحيط بها، بالإضافة لمقياس شدة الإشعاع الشمسي لقياس شدة الأشعة الساقطة على الألواح (Mac solar)، وكذلك جهاز لقياس سرعة الرياح (Testo416). كل هذه الأجهزة موضحة في الشكل (3-3).



شكل (3-4): الأجهزة المستعملة لقياس الأحوال الجوية والقيم الكهربائية.

#### 3-2-4 سرّيان التجربة:

بعد تثبيت الألواح الشمسية وتركيب أجهزة القياس، تُركت هذه الألواح عُرضة للظروف الجوية حيث ينظّف كلٌّ منها على حدى باستعمال الماء (شكل (4-43)) وفق رزنامة محددة مسبقاً، حيث ينظف اللوح الأول، وهو الشاهد في هذه التجربة، كل ساعة من ساعات القياس خلال اليوم، والثاني أسبوعياً، والثالث كل أسبوعين والرابع كل ثلاثة أسابيع. أما القياسات فتأخذ بداية كل أسبوع طوال ساعات النهار من الثامنة صباحاً إلى الخامسة مساءً.



شكل (4-4): عملية التنظيف الدورية للألواح الشمسية الكهروضوئية المستعملة.

#### 3-4 النتائج المتحصل عليها:

أجريت التجارب ابتداءً من منتصف شهر مارس (2018/03/12) إلى غاية منتصف أبريل (2018/04/16) حيث تتميز هذه الفترة بزوايا رمالية موسمية (الربيع). خلال هذه الفترة قمنا بأخذ القياسات اللازمة وتدوينها في جداول لرسمها وتحليلها لاحقاً. وسنعرض فيما يلي نتائج قياسات اليوم الأخير (2018/04/16) أي بعد أربعة أسابيع من التركيب والتعرض للغبار حيث اللوح رقم 1 نظيف واللوح رقم 2 لم ينظف لمدة أسبوعين واللوح رقم 3 لم ينظف لمدة ثلاثة أسابيع واللوح رقم أربعة لم ينظف لمدة أربعة أسابيع.

#### 1-3-4 أحوال الطقس :

تميّز يوم 2018/04/16 بالصفاء مع هبوب رياح خفيفة حارة في بعض الأحيان بلغ معدل سرعتها  $1.3 \text{ m/s}$  كما بلغت درجة الحرارة القصوى  $28.3^\circ\text{C}$  على الساعة الواحدة زواياً والدنيا  $18.7^\circ\text{C}$  على الساعة الثامنة صباحاً، والجدول (2-4) يلخص أحوال الطقس المسجلة على مدار ساعات القياس.

الأحوال الجوية			
الساعة	سرعة الرياح [m/s]	درجة الحرارة [°C]	حالة الطقس
08:00	0,7	19,2	شمس
09:00	0,9	19,9	شمس
10:00	0,7	20,7	شمس
11:00	0,8	22,8	شمس
12:00	2,7	24,2	شمس
13:00	1,1	25,3	شمس
14:00	0,9	28	شمس
15:00	2,3	28,3	شمس
16:00	1,1	27,8	شمس
17:00	1,7	27	شمس

جدول (4-2): أحوال الطقس المسجلة ليوم 2018/04/16

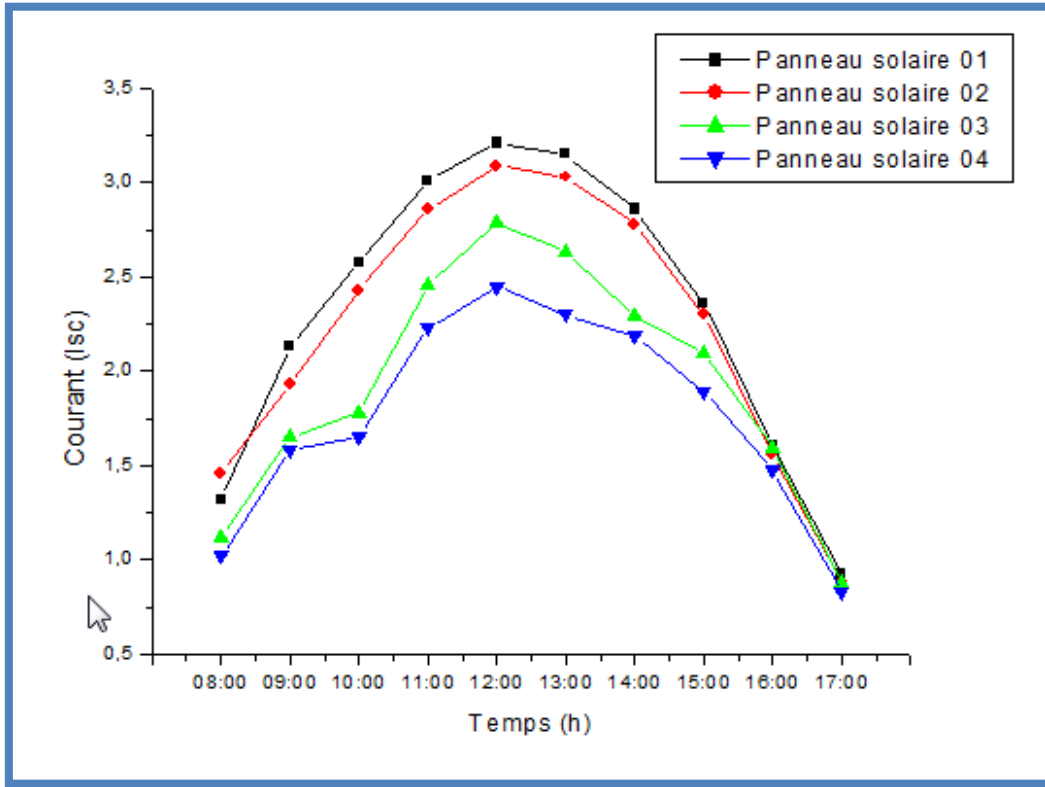
2-3-4 تيار القصر  $I_{sc}$  :

نقوم بقصر قطبي الألواح الشمسية باستعمال جهاز أمبيرمتر وذلك لقياس شدة تيار القصر، والنتائج المتحصل عليها مدونة في الجدول (4-3).

تيار القصر [A]				
اللوح رقم 4	اللوح رقم 3	اللوح رقم 2	اللوح رقم 1	الساعة
1,02	1,12	1,46	1,32	08:00
2,13	1,87	1,93	1,85	09:00
2,58	2,33	2,43	2,34	10:00
3,01	2,74	2,86	2,78	11:00
3,21	2,94	3,09	3,01	12:00
3,15	2,9	3,03	2,99	13:00
2,86	2,64	2,78	2,8	14:00
2,36	2,2	2,3	1,7	15:00
1,61	1,48	1,56	1,62	16:00
0,92	0,83	0,88	0,94	17:00

#### جدول (4-3): شدة تيار القصر للألواح الأربع ليوم 201/04/16

من خلال الرسم البياني المبين في الشكل (4-5)، والذي يمثل تغير شدة تيار القصر للألواح الأربع خلال ساعات النهار ليوم 2018/04/16، حيث نلاحظ الفرق في تغير قيم التيار من لوح إلى آخر، فبالنسبة للوح رقم 1 والذي يتم تنظيفه كل ساعة من اليوم فإن شدة تيار القصر الخاص به أعلى من بقية الألواح وتصل إلى القيمة العظمى وهي (A) 3.22 وذلك خلال الساعة منتصف النهار ثم تبدأ بالانخفاض وذلك تبعاً للإشعاع الشمسي، بينما تنخفض قيم تيار القصر بالنسبة للألواح الثلاثة الأخرى مقارنةً بالوح النظيف والشكل (4-5) يبين ذلك.



شكل (4-5): تغير شدة تيار القصر خلال ساعات النهار للألواح الشمسية الكهروضوئية الأربعة المستعملة .

العامل المتغير بين الألواح الأربع في هذه الحالة هو كمية الغبار المتراكم على سطح اللوح والتي تزيد بزيادة مدة التعرض للغبار دون تنظيف الأمر الذي يمنع بعض أشعة الشمس من الوصول إلى الخلية وبالتالي تنقص شدة التيار المنتج وهو ما يفسر الرسومات البيانية في الشكل (4-5).

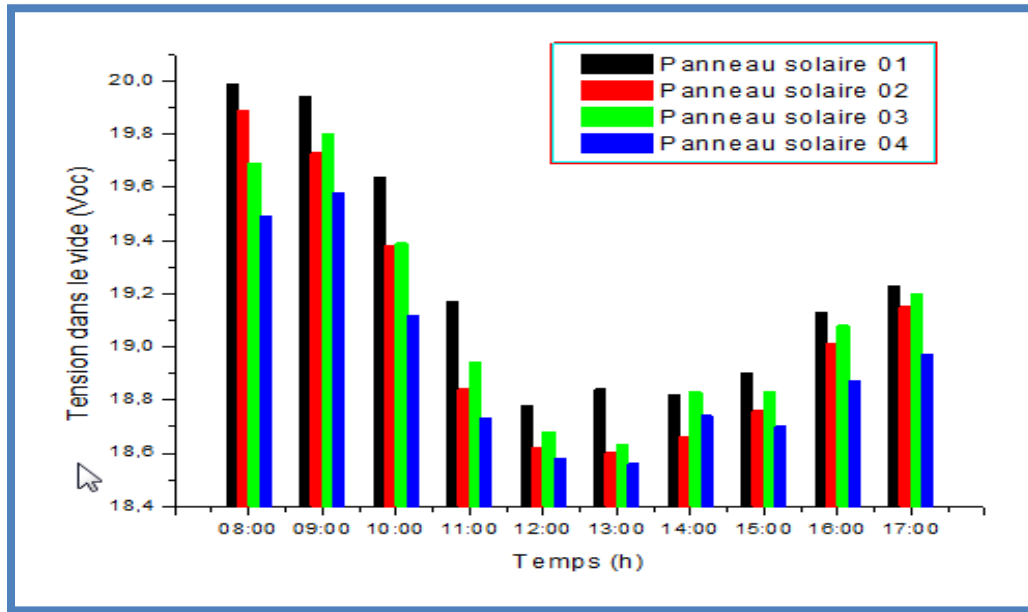
#### 3-3-4 الجهد في الفراغ $V_{oc}$ :

في هذه الحالة نضع جهاز فولط متر بين طرفي الألواح، وبما أن مقاومة هذا الجهاز كبيرة جداً فإن التيار لا يمر وتعتبر الدارة في الفراغ. النتائج المسجلة في هذه التجربة، مدونة في الجدول (4-4).

الجهد في الفراغ [V]				
الساعة	اللوحة رقم 1	اللوحة رقم 2	اللوحة رقم 3	اللوحة رقم 4
08:00	19,99	19,89	19,69	19,49
09:00	19,94	19,73	19,8	19,58
10:00	19,23	19,15	19,2	18,97
11:00	19,64	19,38	19,39	19,12
12:00	19,13	19,01	19,08	18,87
13:00	19,17	18,84	18,94	18,73
14:00	18,9	18,76	18,83	18,7
15:00	18,82	18,66	18,83	18,74
16:00	18,84	18,6	18,63	18,56
17:00	18,78	18,62	18,68	18,58

جدول (4-4): قيم الجهد في الفراغ للألواح الأربعة ليوم 2018/04/16.

الملاحظ للرسومات البيانية المبينة في الشكل (4-6)، يرى أن هناك تغير طفيف في قيمة التوتر في الفراغ بالنسبة للألواح.



شكل (4-6): تغير قيم الجهد في الفراغ خلال ساعات النهار للألواح الشمسية الكهروضوئية الأربعة المستعملة.

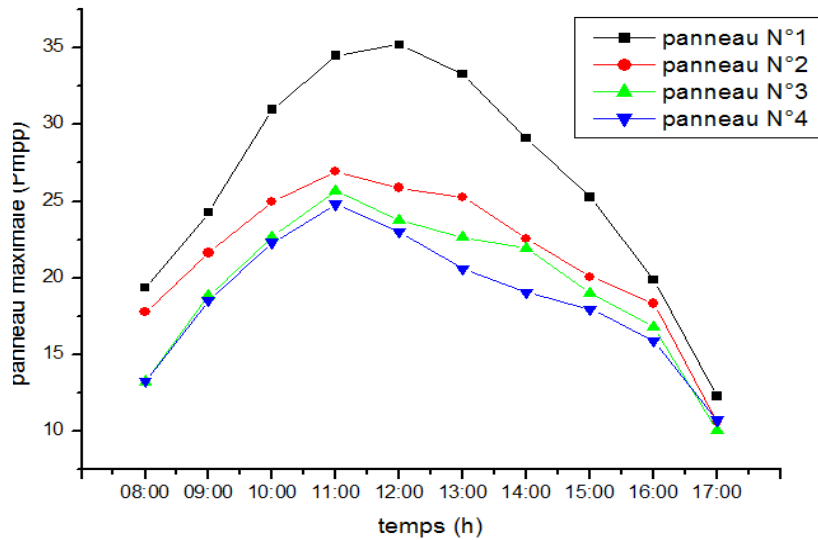
#### 4-3-4 الإستطاعة القصوى المنتجة $P_{max}$ :

في هذا الجزء، قمنا بربط طرفي اللوح الشمسي بمقاومة متغيرة بحيث نُغير قيمتها كل ساعة بحيث نتحصل في كل مرة على الإستطاعة القصوى المنتجة من طرف كل لوح. والنتائج المتحصل عليها مبينة في الجدول (4-5).

نقطة الإستطاعة القصوى [W]

الساعة	اللوحة رقم 1	اللوحة رقم 2	اللوحة رقم 3	اللوحة رقم 4
08:00	19,348	17,7632	13,2596	13,2714
09:00	24,2641	21,63	18,8642	18,5587
10:00	30,9648	24,969	22,6802	22,32
11:00	34,485	26,9568	25,676	24,8016
12:00	35,2016	25,884	23,7648	23,0034
13:00	33,2786	25,2827	22,6658	20,5826
14:00	29,1	22,5525	21,9449	19,048
15:00	25,268	20,0775	19,0175	17,9796
16:00	19,8486	18,3362	16,7943	15,9018
17:00	12,2784	10,6128	10,0672	10,7464

جدول (4-5): نقطة الاستطاعة القصوى للألواح الأربعة ليوم 2018/04/16.



شكل (4-7): تغير قيم الاستطاعة القصوى المنتجة خلال ساعات النهار للألواح الأربعة المستعملة .

نلاحظ الشيء نفسه كما في تيار القصر والجهد في الفراغ، فإن الشاهد يُنتج أكبر استطاعة من البقية وأضعفها هي تلك المنتجة من طرف اللوح الرابع وهو الذي لم ينظف طيلة فترة التجربة حيث يصل أقصى فرق بينهما إلى 6 W أي ما يعادل 25% من الاستطاعة المنتجة ضاعت بفعل تراكم الغبار وتقل هذه النسبة عند اللوحين الثاني والثالث حيث بلغت 10% و 18% على التوالي.

4-3-5 شدة الإشعاع الشمسي الساقط على الألواح  $H$  :

من المفروض في هذا الجزء من القياس استعمال أربعة أجهزة لقياس شدة الإشعاع الساقط على كل لوح على حدى، ولكن ونظراً لعدم توفر الأجهزة، قمنا بقياس الإشعاع الساقط على اللوح النظيف فقط ونحن على يقين أن شدة الإشعاع الساقط على الألواح الأخرى ستتناقص تدريجياً حسب كمية الغبار المتراكم على سطح اللوح. و الجدول (4-6) يمثل النتائج المتحصل عليها خلال ساعات القياس ليوم 2018/04/16.

شدة الإشعاع الشمسي $[W/m^2]$	الساعة
H	08:00
289	08:00
466	09:00
717	10:00
875	11:00
945	12:00
960	13:00
895	14:00
748	15:00
538	16:00
316	17:00

جدول (4-6) : شدة الإشعاع الشمسي خلال ساعات النهار ليوم 2018/04/16.

## 4-3-6 درجة حرارة الخلية الشمسية الكهروضوئية :

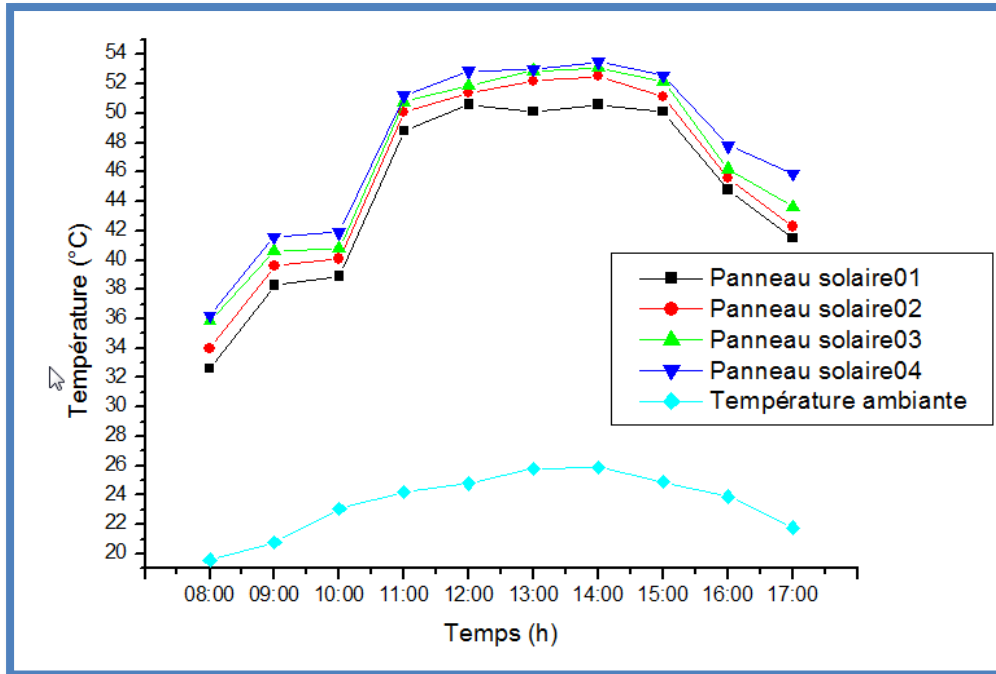
إستعملنا لقياس درجة حرارة الألواح الأربعة المستعملة، حساسات حرارية من النوع K ألصقت بعناية خلف كل لوح ونقوم بتسجيل النتائج كل ساعة وهي المبينة في الجدول (4-7).



درجة حرارة الخلية				
اللوح رقم 4	اللوح رقم 3	اللوح رقم 2	اللوح رقم 1	الساعة
36	35	32	30	08:00
39	38,7	38,2	38,2	09:00
35.2	33,7	33,8	32	10:00
47,5	47,3	47,4	47,1	11:00
48	44,7	44,5	40,4	12:00
55	54,9	54,1	54,5	13:00
57	54,4	52,9	50,4	14:00
57,2	56,4	54,9	52,5	15:00
60	58,1	57,2	56,2	16:00
57	56.3	50.2	48	17:00

جدول (4-7) : درجات حرارة الألواح الأربع خلال ساعات النهار ليوم 2018/04/16

نلاحظ من الرسوم البيانية الموضحة في الشكل (4-8) أن اللوح النظيف هو الأكثر برودة مقارنة بالبقية ويليه اللوح رقم 2 ثم اللوح رقم ثلاثة وأخيراً اللوح رقم أربعة وذلك راجع إلى الغبار المتراكم على سطح الألواح مُشكلاً شبه غطاء تزداد سماكته بازدياد مدة التعرض للغبار دون تنظيف الشيء الذي يمنع التبريد الطبيعي للوح الشمسي تدريجياً حسب سماكة الغطاء.



الشكل (4-8): تغير درجات حرارة خلايا الألواح الأربعة مقارنة بدرجة حرارة المحيط.

#### 4-3-7 القدرة الكهربائية اليومية :

لكي نبين مدى تأثير تراكم الغبار على مردود الألواح الشمسية الكهروضوئية، قمنا بحساب القدرة الكهربائية اليومية المنتجة من طرف كل لوح باستعمال العلاقة (4-1) والنتائج مبينة في الجدول (4-8).

$$E = \sum P_{\max} * N_{\text{Heurs}} \quad (1-4)$$

#### الطاقة اليومية المنتجة [Wh]

اللوح رقم 1	اللوح رقم 2	اللوح رقم 3	اللوح رقم 4
2639.88	2140.3	1946.8	1861.8

#### جدول (4-8): الطاقة اليومية المنتجة ليوم 2018/04/16

وعليه تكون نسبة الطاقة اليومية المفقودة جزاء تراكم الغبار لكل لوح نسبة للشاهد (اللوح رقم 1) مثل ما هو مبين في الجدول (4-9).

#### النسبة المئوية للضياع في الطاقة الكهربائية اليومية المنتجة بالنسبة للشاهد %

اللوح رقم 1	اللوح رقم 2	اللوح رقم 3	اللوح رقم 4
0	-18.92	-26.25	-29.47

#### جدول (4-9): نسبة الطاقة اليومية المفقودة ليوم 2018/04/16

من خلال النتائج المبينة في الجدول (4-9) فإن ترك اللوح الشمسي الكهروضوئي دون تنظيف لمدة أربعة أسابيع يُفقد طاقة يومية تُقدر بـ 1861.8Wh أي ما يعادل نسبة 29.47% وهي نسبة معتبرة.

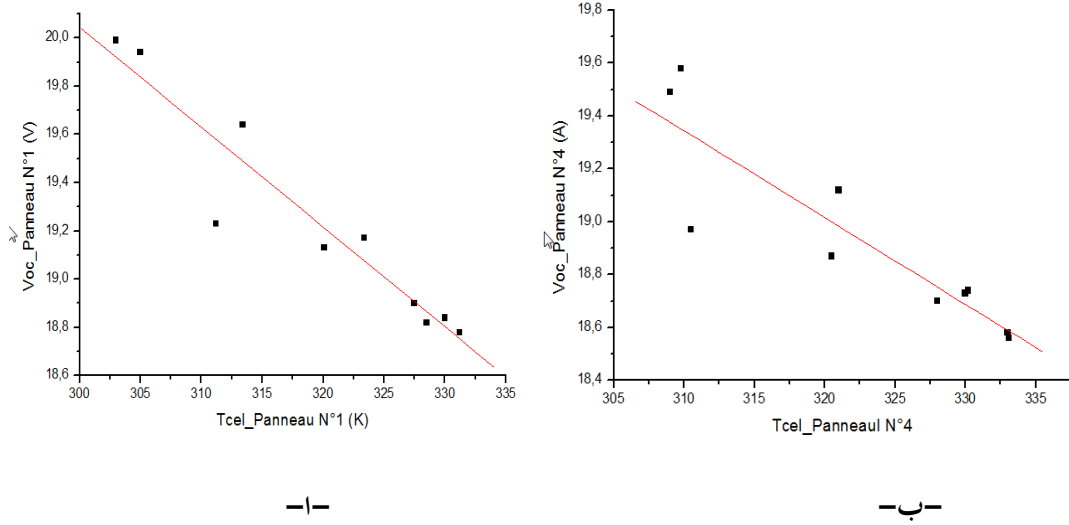
#### 4-4 مقارنة تَغْيِير بعض الخصائص الكهربائية للشاهد واللوح رقم 4 بدلالة درجة حرارة الخلية لكليهما :

سنقوم فيما سيأتي بدراسة مقارنة بين الخصائص الكهربائية لكل من الشاهد النظيف واللوح رقم 4 الذي لم ينظف لمدة أربعة أسابيع ومدى تأثيرها بتغيير درجة حرارة الخلية لكل من اللوحين الشمسيين. الملاحظ لهذه النتائج من الوهلة الأولى لا يرى لها أهمية أو لا تظهر له بأنها صحيحة أصلاً وذلك لأن نقاط القياس خلال اليوم قليلة لذلك تظهر في البيان متناثرة، بينما لو كان القياس كل دقيقة وتوفر لدينا نظام آلي لاستقبال وتخزين المعلومات، عندها تكون الرسومات البيانية عبارة عن سحابة من النقاط (أكثر من 600 نقطة) مُتَمَوِّضعة حول خط المستقيم التقريبي لكل خاصية كهربائية.

ملاحظة أخرى مهمة وهي أن كل البيانات التي سنعرضها فيما يلي عبارة تقريباً عن خط مستقيم متزايد أو متناقص

حسب نوع الخاصية الكهربائية [23,22].

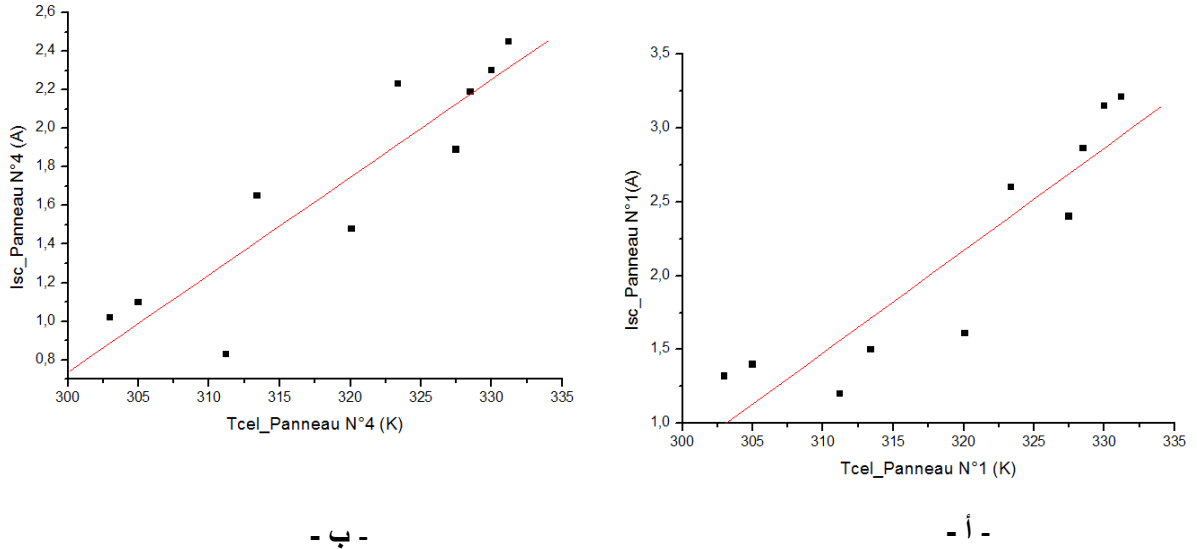
### 4-4-1 الجهد في الفراغ :



الشكل (4-9): تغير الجهد في الفراغ بدلالة حرارة الخلية : أ- اللوح رقم 4 ، ب- الشاهد.

من البيانين في الشكل (4-9) يظهر جلياً أن تغيّر الجهد في الفراغ بدلالة درجة حرارة الخلية هو عبارة عن خط مستقيم متناقص ولكن بزاوية ميل أقل بالنسبة للوح رقم 4 لتناقص قيم الجهد نتيجة تراكم الغبار.

### 4-4-2 تيار القصر :



الشكل (4-10): تغير تيار القصر بدلالة حرارة الخلية : أ- اللوح رقم 4 ، ب- الشاهد.

نفس الملاحظة السابقة إلا أن في حالة تيار القصر فالخاصية هي عبارة عن خط مستقيم متزايد مع زاوية ميل أقل بالنسبة للوح رقم 4 للنقصان الذي تسبب فيه تراكم الغبار على سطح اللوح.

**4-4 خاتمة :**

في هذا الفصل الأخير من البحث والذي عرضنا فيه مراحل إجراء التجارب من البداية وصولاً إلى النتائج المتحصل عليها والتي كانت في مجملها مطابقة لما هو موجود في الأبحاث السابقة ذات الصلة.

خلاصة

## الخلاصة

في نهاية هذا البحث الذي قمنا فيه بدراسة تجريبية بحتة حول تأثير تراكم الغبار على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية بمنطقة ورقلة، والذي يُعتبر من أوائل البحوث بجامعة قاصدي مرياح ورقلة التي تناولت هذه الظاهرة، المنتشرة كثيراً بمنطقة ورقلة محل الدراسة، بالدراسة والتحليل ومقارنة النتائج المتحصل عليها من عمليات القياس للخصائص الكهربائية لأربعة ألواح شمسية كهروضوئية من نوع متعدد البلورات فئة 55 واط، تُبنت بجانب بعضها بزوايا ميل  $32^\circ$  ناحية الجنوب بمخبر الكهرباء بقسم الفيزياء بجامعة قاصدي مرياح ورقلة. هذه الألواح تُنظفُ بصفة دورية وفق رزنامة معينة طيلة فترة التجربة والتي استمرت لستة أسابيع ابتداءً من 2018/03/12 إلى غاية 2016/04/16 والتي تميزت بعواصف رملية موسمية (الرياح) تخللتها بعض الأمطار كانت غزيرة أحياناً خاصة بعد مرور أسبوعين من التجربة، الأمر الذي أجبرنا على البداية من جديد لأن هذه الأمطار قامت بتنظيف ما تراكم من غبار على الألواح وهي تعتبر أحد طرق التنظيف الطبيعية.

بعد تحليل النتائج المتحصل عليها في هذا البحث للألواح الأربعة، خُصَّ البحث إلى ضرورة التنظيف الدوري للألواح الشمسية الكهروضوئية مرة واحدة في الأسبوع على الأقل باستعمال المياه المتوفرة بكثرة بمنطقة ورقلة محل الدراسة، خاصة وأن هذه المنطقة تتميز بندرة الأمطار وكثرة الزوايا الرملية. وفي حال تُركت هذه الألواح دون تنظيف لمدة أربعة أسابيع، وهي المدة الفعلية للدراسة، فإن هذه الأخيرة ستفقد يوماً من خصائصها الكهربائية ما يلي:  $29.47\%$  من الإستطاعة المنتجة، حوالي  $10\%$  من تيار القصر بينما النسبة طفيفة جداً بالنسبة للجهد في الفراغ. هذه النسب تزيد كل ما زادت فترة التعرض للغبار دون تنظيف. وعليه فإن البحث يوصي بشدة على عدم ترك الألواح الشمسية الكهروضوئية دون تنظيف لأن ذلك ينتج نقاط ساخنة الأمر الذي يؤثر بشكل سلبي على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية وعلى مردودها المُدَيَّ أصلاً.

عائنا في إنجاز بحثنا هذا وككل البحوث التحريبية من نقص الأجهزة فمثلاً لو توفّر لدينا أربعة أجهزة قياس شدة الإشعاع الشمسي لتمكنا أيضاً من حساب نسبة الفقد في شدة الإشعاع الساقط على الألواح بفعل تراكم الغبار، ونقص العامل البشري لأن شخص واحد لا يكفي لإجراء كل هذه التجارب وأخذ مجموعة من القياسات في نفس الوقت. كما نوصي مستقبلاً باستخدام نظام استقبال وتخزين المعلومات آلي الأمر الذي يوفر عامل الجهد والوقت ويُكوّن قاعدة بيانات تُستخدم عند الحاجة.

وفي الأخير نتمنى أن تساهم نتائج هذا البحث في إعطاء المهتمين بهذا المجال نظرة حول مدى تأثير تراكم الغبار

على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية. .

## References

- [1] Ababacar Ndiye- these de doctorat – etude de la degradtiom – et de la fiabulite des modules photovoltaique impact de de la poussière sur les caractéristique électriques de performance -2013.
- [2] كتاب الدكتور والمهندس رامي جورج - الطاقات المتجددة ومحطاتها 2017/2016.
- [3] Farida Bandou – Thèse de doctorat En SCIENCE-contribution a l'Analyse des performances électriques et thermiques des modules photovoltaiques de différentes Technologies-2015/2016.
- [4] Mikhailova I. A. Introduction to nanoenergy: tutorial. – M: Moscow Power Engineering Institute “MPEI”. Publishing house MPEI, 2011. – 317.1.
- [5] Kiran Ranabhat - An introduction to solar cell technology -2016.
- [6] كتاب المهندس سالم بن موسى – الطاقة الشمسية - 2012.
- [7] book Solar Radiation Measurements -2013.
- [8] SOLAR RADIATION MEASUREMENTS.
- [9] Effects of Dust on the Performance of PV Panels2011-Shaharin A. Sulaiman, Haizatul H. Hussain, Nik Siti H. Nik Leh, and Mohd S. I. Razali.
- [10] book Solar Energy Fundamentals, Technology, and Systems-2014.
- [11] Fundamentals of Photovoltaic Materials National Solar Power Reasearch Institute, Inc.
- [12] Solar Cells2011 Katja Vozel.
- [13] Abd Salam Al-Anmri-Areej Ghali –Department of Mechanical Engineering – dust effects on the performaneeof PV street light in Baghdad City -2012.
- [14] Muhammed J.Adinoyi<sup>a</sup>-Syed A.M.Said<sup>b-a</sup> – Reneuvable energy 60-2013-633-636-effect of dust accumulation on the power outpots of solar photovoltaic modules -2013.
- [15] Dajuma-Alima-Climate change and energy sensitivity of solar photovoltaic (PV) efficiency to climate change and dust ; comparative study be two Niamey and Abidjam - 10 November 2015.
- [16] livre de etudes de l' unicem- impacts industuels – carriérespoussières et en Veirommement-2011.
- [17] Hassan Qasem-2013-doctoral thsis – submitted in partial fulfilment of the requirement for the award of.

---

[18] Doctor and Engineer Rami Ibrahim George- the book of renewable energies and stations-2016-2017. [3] Ismail Issa – Scientific message of the magister- the study of improving the yield of electrolytic panels by adding surface reflectors-2014-2015.

[19] Salembin Younsi – Solar Energy Book-2012.

[20] semaoui , s, Arab, A.H.Boudjelthaia,E,K.Bacha ,S,& Zeraia, H.(2015).Dust Effect on Optical Teansmittance of photovoltaic Module Glazing in a Desert Region in energy Procedia(Vol . 74.pp.13347-1357).Elsevier Ltd .<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.781>.

[21]Aissa,B,isaifan,R,J,Madhavan,V ,E,& Abdallah,A,A,(2016).Structural and physical properties of the dust particles in Qatar and their influence on the PV panel performance . Scientific Reports , 6, <https://doi.org/10.1038/srep31467>