

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة قاصدي مرباح ورقلة  
كلية الرياضيات وعلوم المادة



مذكرة ماستر أكاديمي

مجال: علوم المادة

فرع: فيزياء

التخصص : فيزياء طاقوية و الطاقات المتجددة

الموضوع :

## دأرة ومحاكاة لوح خلايا شمسية

من إعداد الطالبين: زياد فطيمة و بن محمد حبيبة

نوقشت: يوم 23 /06/ 2021  
أمام لجنة المناقشين المكونة من الأساتذة:

أستاذ محاضر قسم " أ " جامعة قاصدي مرباح ورقلة رئيسا  
أستاذ محاضر قسم " أ " جامعة قاصدي مرباح ورقلة مناقشا  
أستاذ محاضر قسم " ب " المدرسة العليا للأساتذة ورقلة مشرفا

بن طويلة عمر  
بن مبروك لزهرة  
جربوي محمد

السنة الجامعية: 2021/2020

# إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

إلى الذين مهدوا لنا طريق العلم و المعرفة

إلى من تربيته على يديه ومن علمني القيم و المبادئ و الأخلاق

إلى مصدر الدعم و العطاء و ينبوع الأمل أبي الغالي حفظه الله

إلى من أحطى الله الجنة تحت قدميها صاحبة القلب الحنون

والعين الساهرة ، إلى رمز المحبة و يلسم الشفاء أمي الحبيبة

إلى إخوتي و أخواتي سندي وسعادتي في الحياة

إلى أصدقائي و معارفي الذين أجلهم و أحترمهم

إلى أساتذتي الكرام الذين رافقوني طيلة مشواري الدراسي

فلكم أسمى وأرقى عبارات التحية

كما أتقدم بشكر الجزيل للأستاذ المشرف جريوي محمد على

هذه المذكرة وما بذله من جهد ونصح وتوجيه

## فهرس المحتويات

### العنوان الصفحة

الإهداء.....	
فهرس المحتويات.....	
فهرس الأشكال.....	
فهرس الجداول.....	
فهرس الرموز.....	
مقدمة عامة.....	1

### الفصل الأول: الإشعاع الشمسي

1-I مقدمة.....	22-I
الشمس.....	2
3-I الإشعاع الشمسي.....	3
1-3-I تعريف.....	4
2-3-I الطيف الشمسي.....	4
4-I الثابت الشمسي.....	5
5-I العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع الشمسي.....	6
1-5-I الغلاف الجوي.....	7
2-5-I الزوايا الشمسية.....	9
1-2-5-I زاوية دائرة العرض $\phi$ .....	10
2-2-5-I زاوية الخط الطولي L.....	10
3-2-5-I زاوية الساعة الشمسية $\omega$ .....	11
4-2-5-I زاوية سمت الشمسي $\delta$ .....	11
5-2-5-I زاوية الارتفاع الشمسي h.....	12
6-2-5-I زاوية سمت الراسي Z.....	13

- 6-I التوقيت الشمسي ..... 14
- 7-I حساب شدة الإشعاع الشمسي المباشر المنتشر..... 15
- 8-I الكتلة الهوائية..... 15
- 9-I قياس الإضاءة..... 17
- 1-9-I وحدة قياس الإضاءة..... 18
- 2-9-I خصائص الضوء..... 19
- 3-9-I تاريخ قياس سرعة الضوء ..... 19
- 10-I تحويل الطاقة : تقنيات تحويل الطاقة الشمسية المختلفة ..... 20
- 1-10-I الطاقة الشمسية مع التركيز الديناميكي الحراري ..... 20
- 2-10-I الطاقة لحرارية الشمسية ..... 21
- 3-10-I الطاقة الشمسية الكهروضوئية ..... 23
- الفصل الثاني: الخلايا الشمسية**
- 1-II مقدمة ..... 25
- 2-II خلايا شمسية ..... 25
- 3-II نبذة تاريخية عن الخلايا الشمسية ..... 26
- 4-II أشباه الموصلات النقية و الغير نقية ..... 27
- 1-4-II المواد الشبه موصلة النقية ..... 27
- 2-4-II المواد الشبه موصلة الغير نقية ..... 27
- 1-2-4-II أشباه الموصلة نوع سالب ..... 27
- 2-2-4-II أشباه موصلة نوع موجب ..... 28
- 5-II الوصلة pn..... 28
- 6-II تعريف الخلية الكهروضوئية ..... 28
- 7-II كيفية صنع الخلية الشمسية ..... 29
- 8-II طريقة عمل الخلية الكهروضوئية ..... 30
- 9-II التكنولوجيات المختلفة للخلايا الشمسية ..... 30

30.....	II-9-1 خلايا شمسية أحادية البلورة
30.....	II-9-2 خلايا شمسية متعددة البلورة
31.....	II-9-3 خلايا شمسية غير متبلورة
31.....	II-10 بنية (تركيب) الخلية الشمسية
32.....	II-11 مبدأ تشغيل الخلية الشمسية
35.....	II-12 تباين طاقة فجوة النطاق
36.....	II-13 الخصائص الكهربائية للخلية الشمسية
36.....	II-13-1 خصائص
37.....	II-13-2 مناطق التشغيل للوحدة كهروضوئية
38.....	II-13-3 الدوران المتكافئ لخلية كهروضوئية
<b>الفصل الثالث: محاكاة الخلايا الشمسية</b>	
41.....	III-1 الدارة الكهربائية المكافئة. النمذجة الكهربائية للخلية كهروضوئية
42.....	III-2 المعاملات الأساسية للخلية الشمسية
42.....	III-2-1 تيار الدارة القصيرة: $I_{cc}$
42.....	III-2-2 توتر الدارة المفتوحة
43.....	III-2-3 معامل الشكل
43.....	III-2-4 مردود التحويل: $\eta$
44.....	III-2-5 الإستجابة الطيفية للخلية كهروضوئية
45.....	III-2-6 المقاومة التسلسلية: $R_s$
45.....	III-2-7 المقاومة الموازية: $R_{sh}$
45.....	III-3 محاكاة لوح خلايا شمسية (المولد كهروضوئي):
47.....	III-4 نمذجة الألواح كهروضوئية
48.....	III-5 نموذج يعتمد على الرسم التخطيطي الكهربائي المكافئ للخلية:
49.....	III-6 تحديد معاملات نموذج الألواح كهروضوئية



## فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
<b>الفصل الأول: الإشعاع الشمسي</b>		
3.....	عناصر الشمس.....	الشكل (1-I)
3.....	ألوان الشمس.....	الشكل (2-I)
4.....	توزيع طيف الإشعاع الشمسي.....	الشكل (3-I)
5.....	محاكاة إشعاع الجسم الأسود لطيف الإشعاع الشمسي.....	الشكل (4-I)
6.....	المسافة بين الشمس إلى الأرض.....	الشكل (5-I)
7.....	الثابت الشمسي بدلالة اليوم والسنة .....	الشكل (6-I)
9.....	توزيع الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض.....	الشكل (7-I)
9.....	الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي الساقط على سطح خلية شمسية.....	الشكل (8-I)
10.....	تأثير محاكاة الغلاف الجوي على شدة الإشعاع الشمسي المباشر.....	الشكل (9-I)
11.....	زوايا تحديد الموقع ( زوايا دائرة العرض $\phi$ وزاوية الخط الطولي $L$ ).....	الشكل (10-I)
13.....	زاوية الميل الشمسي $\delta$ .....	الشكل (11-I)
14.....	الزوايا الشمسية (h-a).....	الشكل (12-I)
15.....	زاوية السمات الرأسية Z.....	الشكل (13-I)
18.....	الأطياف الشمسية الرئيسية المستخدمة في المجال الكهروضوئي.....	الشكل (14-I)
19..	أجهزة قياس التشعيع (a) : هو مقياس الحرارة (b) : الثنائي الضوئي المرئي ..	الشكل (15-I)
21.....	مثالان لمعايير التركيز الديناميكي الحراري.....	الشكل (16-I)
23.....	مثالان للوحدات الحرارية.....	الشكل (17-I)
22 .....	مبدأ تشغيل الطاقة الحرارية الشمسية .....	الشكل (18-I)
24 .....	تكوين الألواح الحرارية الشمسية .....	الشكل (19-I)
<b>الفصل الثاني: الخلايا الشمسية</b>		
30.....	خلية كهروضوئية شمسية ولوح كهر وشمسي وصف كهر وشمسي .....	الشكل (1-II)
35.....	منحنيات التشتت: (a) مع فجوة مباشرة (b) مع فجوة غير مباشرة .....	الشكل (3-II)
36.....	طاقة فجوة النطاق للسيليكون والغاليوم كدالة لدرجة الحرارة .....	الشكل (4-II)
37 .....	خاصية I-V لخلية كهروضوئية.....	الشكل (5-II)

الشكل (6-II) الخصائص I-V للخلية ورابطة من ثلاث فروع متوازية لكل منها خليتان على التوالي 37

الشكل (7-II) دائرة مكافئة لخلية كهروضوئية ..... 39

الشكل (8-II) دائرة مكافئة لخلية كهروضوئية..... 40

### الفصل الثالث: محاكاة الخلايا الشمسية

الشكل (1-III) الدارة المكافئة للخلية الشمسية ..... 41

الشكل (2-III) خصائص  $I(V)$  أو  $p(V)$  للخلية الشمسية ..... 44

الشكل (3-III) (أ) اللوح الشمسي (ب) خصائص اللوح الشمسية ..... 46

الشكل (4-III) مخططات النمذجة الكهروضوئية العامة ..... 47

الشكل (5-III) منحنيات الخصائص (أ)  $v-I$  (ب)  $p-v$  (ج)  $p-I$  عند إشعاعات متغيرة و درجة

حرارة ثابتة ..... 51

الشكل (6-III) منحنيات الخصائص (أ)  $v-I$  (ب)  $p-v$  (ج)  $p-I$  عند درجات حرارة متغيرة و

إشعاع ثابت..... 53



## فهرس الجدول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
34.....	قيم طاقة الفوتونات من طيف الشمس	الجدول (II - 1)
46.....	جدول الخصائص الكهربائية المميزة لوح	الجدول (III - 1)

قائمة الرموز

الوحدة الدولية	الرمز	المقادير الفيزيائية
[J]	E	الطاقة
[m]	$\lambda$	طول الموجة
[Hz]	U	تردد الموجة
[m /s]	c	سرعة الضوء في الفراغ
[J.s]	h	ثابت بلانك
[C°]	T	درجة الحرارة
[w/m <sup>2</sup> ]	I <sub>0</sub>	الثابت الشمسي
[°]	$\Phi$	زاوية دائرة العرض
[°]	L	زاوية خط الطول
[°]	$\delta$	زاوية ميل الشمس
[°]	h	زاوية الارتفاع الشمسي
[°]	$\omega$	زاوية الساعة الشمسية
[°]	a	زاوية السميت الشمسي
	n	معامل الانكسار
[J]	E <sub>ph</sub>	طاقة الفوتون
[J]	E <sub>g</sub>	طاقة فجوة النطاق
[V]	V <sub>co</sub>	جهد الدارة المفتوحة
[ $\Omega$ ]	R <sub>s</sub>	مقاومة الأقطاب
[A]	I <sub>sc</sub>	تيار الدارة القصيرة
	FF	معامل الشكل

## مقدمة عامة:

تعتبر الطاقة الشمسية المصدر الأساسي و الرئيسي الذي يمد كوكب الأرض بالطاقة كما تعتبر مصدر واسع للانتشار في مختلف أنحاء العالم حيث أن الطاقة التي يمكن الحصول عليها من أشعة الشمس لمدة 105 دقيقة تكفي (احتياجات و استهلاك العالم لمدة عام).

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية وفق آلية التحويل الكهروضوئية ويقصد بتحويل الكهروضوئي تحويل إشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية واسعة بواسطة الخلايا الشمسية ( كهروضوئية ) وكما هو معلوم هناك بعض المواد التي تقوم بعملية التحويل الكهروضوئية تدعى أشباه الموصلات تدعى السيلكون و الجرمانيون وقد تم اكتشاف هذه الظاهرة من قبل علماء في الفيزياء في أواخر القرن التاسع عشر ميلادي حيث وجدوا ان الضوء يستطيع تحرير الإلكترونات من بعض المعادن وإنتاج طاقة كهربائية .

وإن لتوليد الكهرباء باستخدام منظومات الشمسية الفوتوفولتائية أصبح في الوقت الحالي من المصادر الهامة و المتنامية في مناطق كثيرة من العالم، وقد اكتسبت المنظومات الشمسية الفوتوفولتائية وذلك لضرورة استخدامها في كثير من التطبيقات كمنظومات الاتصالات في المناطق المعزولة، وثلاجات الأدوية للمجمعات الصحية في المناطق النائية والتي يصعب تغذيتها بالمصادر الكهربائية التقليدية. كما تعتبر المنظومة الفوتوفولتائية الخيار الأكثر اعتمادية في المناطق الريفية النائية لا سيما البعيدة عن خطوط الشبكة الكهربائية العامة مقارنة بالمصادر الأخرى نظرا لسهولة استخدامها وعدم احتياجها للوقود .ولأهمية هذا الموضوع حاولنا في بحثنا هذا إجراء دراسة تضمنت ثلاث فصول

تعرضنا في **الفصل الأول** إلى الطاقة الشمسية و الإشعاع الشمسي باعتباره وقود للخلية الشمسية لضمان تغذية مستمرة وكذلك إلى العوامل المؤثرة إبتدا من خروجه من الشمس إلى غاية وصوله إلى الخلية الشمسية **الفصل الثاني** قدمنا دراسة شاملة للمكون الرئيسي للخلية الشمسية وهو أشباه الموصلات وما هو سلوكها عند امتصاص الخلية الشمسية أما **الفصل الثالث** تطرقنا إلى دراسة الخلايا الشمسية من حيث كيفية عملها ، بعض أنواعها صنعتها وكيفية ربطها ثم أجرينا محكات لنوعين من الخلايا تتوفر عليهما السوق الداخلية في منطقة تقرت



**الفصل الأول:**  
**الإشعاع الشمسي**

## I-1 مقدمة :

تعتبر الشمس المصدر الأساسي لحرارة الكرة الأرضية ، ويطلق على الأشعة الصادرة منها والمتجهة نحو الأرض بالإشعاع الشمسي، وقد تتطور استعمالها عبر العصور أوضحت الدراسات ان الشمس مكون من غازات أهمها الأكسجين والهليوم حيث يبلغ قطرها  $10 \times 1.39$  متر. وتفصلها عن الأرض مسافة تقدر بـ  $10 \times 1.496$  متر وتولد الطاقة الشمسية نتيجة التحول المستمر لكل أربع ذرات من الهيدروجين الى ذرة واحدة من الهليوم، حيث يتحول 564.106 مليون طن من الهيدروجين إلى 560.106 مليون طن من الهليوم في الثانية الواحدة بنقص في الكتلة قدره 4 مليون طن في الثانية، وهي توافق تدفق إشعاعي شدته  $36102. \text{ kwh/m}^2$ . يخترع هذا الإشعاع الغلاف الجوي ومكوناته و يرافق ذلك حدوث عمليات ضوئية ( امتصاص ، انعكاس ).

تتباين شدة الإشعاع الشمسي وطول فترة سطوعه زمانيا ومكانيا تبعا لاختلاف زاوية سقوط الأشعة الشمسية على سطح الأرض، وإلى اختلاف طول النهار على مدار العام بسبب اختلاف وضع الأرض بالنسبة للشمس خلال دورة الأرض السماوية حول الشمس.

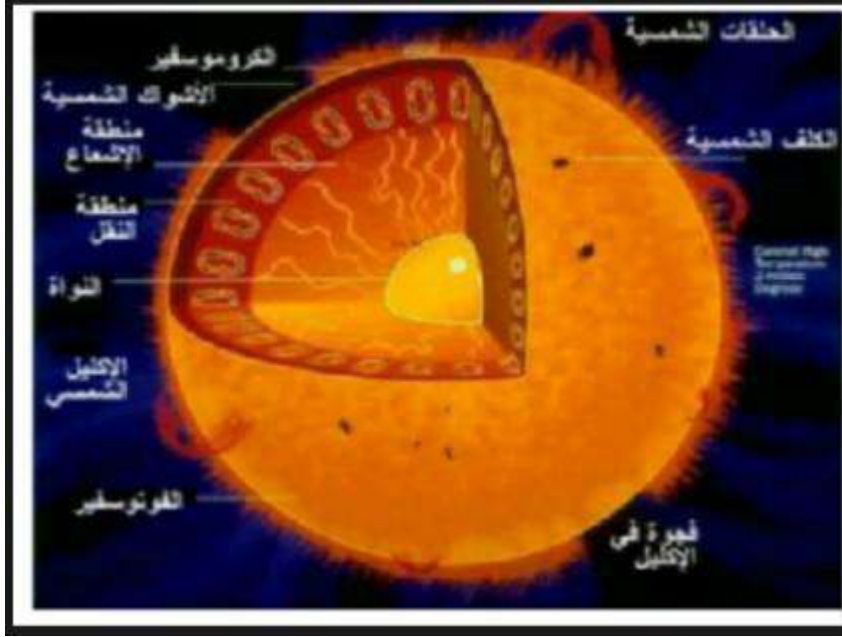
## I-2 الشمس:

الشمس مصدر طاقة الأرض الأساسي ولها أهمية كبرى، فمنها نستمد الدفء، ولولاها لتجمدت المحيطات، وبدونها يتحول النيتروجين و الأكسجين في الهواء الجوي إلى حالة السيولة. أما ثاني أكسيد الكربون فيتجمد أيضا. بل أن الشمس هي التي توفر الطاقة اللازمة لعملية التمثيل الضوئي.

إن مصدر الطاقة هو تفاعل الاندماج النووي الجاري باستمرار في مركز الشمس حيث تتحول كميات كبيرة من كتلة الشمس إلى طاقة بواسطة عمليات الاندماج النووي. ويعادل مقدار هذه الطاقة الواصلة إلى سطح الأرض 15000 مرة مما يحتاجه سكان الأرض جميعا من الطاقة. تتكون الشمس من مجموعة من العناصر :

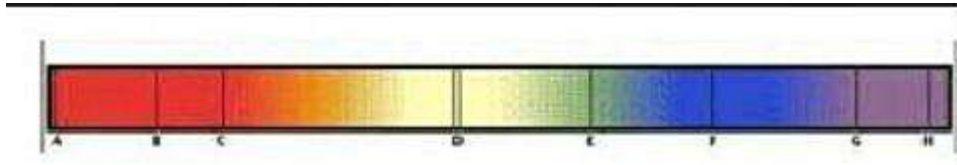
- النواة الشمسية : وفيه تتم عمليات الاندماج النووي التي تنتج الطاقة .
- منطقة الإشعاع: وهو الغلاف الذي يحيط بالنواة
- منطقة النقل : يتميز بأن الطاقة تنتقل خلاله بواسطة حركة عنيفة للغازات الحرة .

- الفوتوسفير : وهي الطبقة الخارجية للشمس وتعلو منطقة النقل التي تبلغ درجة حرارتها حوالي ( 6000 درجة مئوية ). وهو الجزء المرئي لنا من الشمس .
- الهالة : وهي تغلف بيئة الشمس وتمتد هذه الهالة إلى ما يزيد (100000) كم لكن هذه الهالة تخفى عن الأنظار بسبب الضوء الساطع الصادر عن الكرة المضيئة ولا يمكن رؤيتها إلا خلال حدوث كسوف كلي كما في الشكل (1-I)



شكل (1-I) عناصر الشمس [1]

إن ضوء الشمس المرئي الذي يصلنا من الشمس إشعاع مركب من سبعة ألوان و يصاحبه شعاعان آخران غير مرئيان هما الأشعة فوق بنفسجية والأشعة تحت الحمراء كما في الشكل ( 2-I )، الأولى تأثيرها على الأحياء كيمائي، والثانية تأثيرها حراري. [1]



شكل (2-I) ألوان الشمس السبعة [1]

I-3 الإشعاع الشمسي:

I\_3\_1 تعريف: ترسل الشمس أشعتها على شكل فتونات تتطلق بسرعة الضوء (c) على شكل موجات حيث لكل فتون طول موجي ( $\lambda$ ) وكمية من الطاقة (E) تتناسب عكسيا مع الطول الموجي وحسب نظرية بلانك [2]، توضح بالمعادلة الآتية:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (I - 1)$$

حيث

-  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  : هو تردد الموجة [Hz]

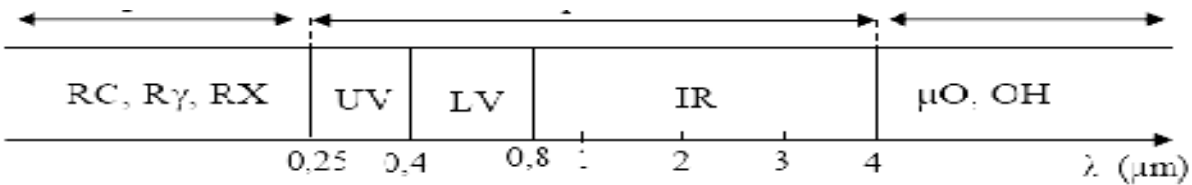
-  $\lambda$ : طول الموجة [m]

-  $c = 3 \cdot 10^8 m/s$  سرعة الضوء في الفراغ

-  $h = 6.62 \times 10^{-34} JS$  ثابت بلانك

I-3-2 طيف الإشعاع الشمسي:

إن الإشعاع الشمسي الصادر عن الشمس بموجات ذات أطوال مختلفة، مجملها على شكل أمواج كهرومغناطيسية تتوزع طاقتها على طيف الإشعاع بنسبة 98% في مجال  $\lambda [0.25, 4] \mu m$ ، بينما نجد 1% من الطاقات تحت هذا المجال و 1% فوق هذا المجال [3]، كما هو مبين في الشكل (I-3)



الشكل (I-3): توزيع طيف الإشعاع الشمسي [4].

-  $\lambda \in [0.25, 0.4] \mu m$  المجال فوق بنفسجي (UV) يمثل 7% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

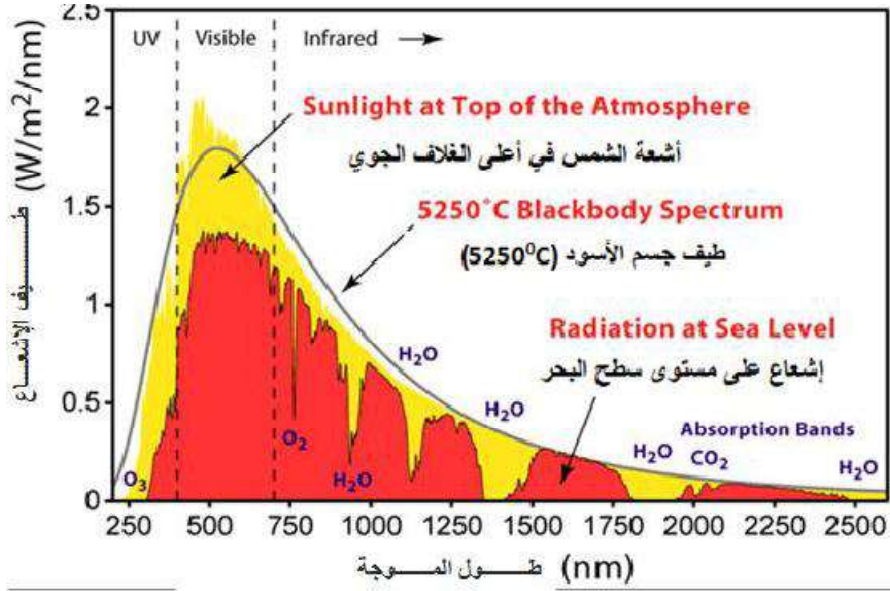
-  $\lambda \in [0.4, 0.8] \mu m$  المجال المرئي (LV) يمثل 47% من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

-  $\lambda \in [0.8, 4] \mu m$  المجال تحت الأحمر (IR) يمثل 45.5% من الطاقة المنبعثة من الشمس.

حيث: RX: الأشعة السينية؛ R $\gamma$ : الأشعة غاما؛ RC: الأشعة الكونية.  $\mu O$ : الأشعة الميكروويف؛ OH: أشعة الراديو.



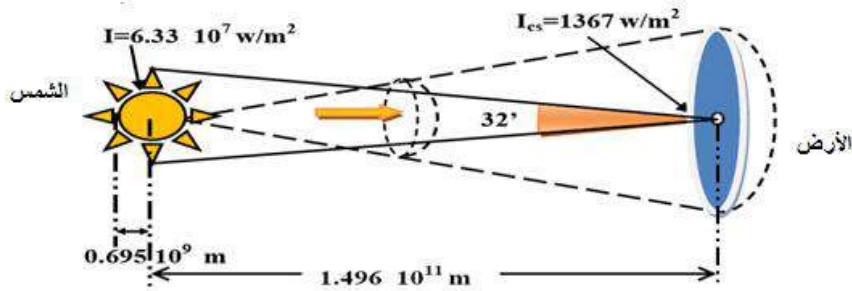
إن الإشعاع الشمسي يحاكي إشعاع الجسم الأسود في درجة الحرارة  $T=5600K$  في مجال الطيف  $[.25 , 4]\mu m$  بينما يصل إلى سطح الأرض بعد بعض الامتصاصات من قبل مختلف الغازات وبخار الماء داخل الغلاف الجوي [3]، كما هو مبين في الشكل (4-I)



الشكل (4-I): محاكاة إشعاع الجسم الأسود لطيف الإشعاع الشمسي [5]

#### 4-I الثابت الشمسي:

هو تدفق الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح مساحته  $(1m^2)$  مثبت في نهاية الغلاف الجوي الأرضي في وضع يكون فيه عمودي على أشعة الشمس، وذلك باعتبار المسافة بين الشمس و الأرض على قيمتها المتوسطة خلال السنة والمقدر بـ  $(1,496.10^{11}km)$  و تقدر القيمة المتوسطة للثابت الشمسي بـ  $(I_0 = 1367 W/m^2)$  [6]، كما يوضح الشكل (5-I)



الشكل (5-I) المسافة بين الشمس إلى الأرض [7]

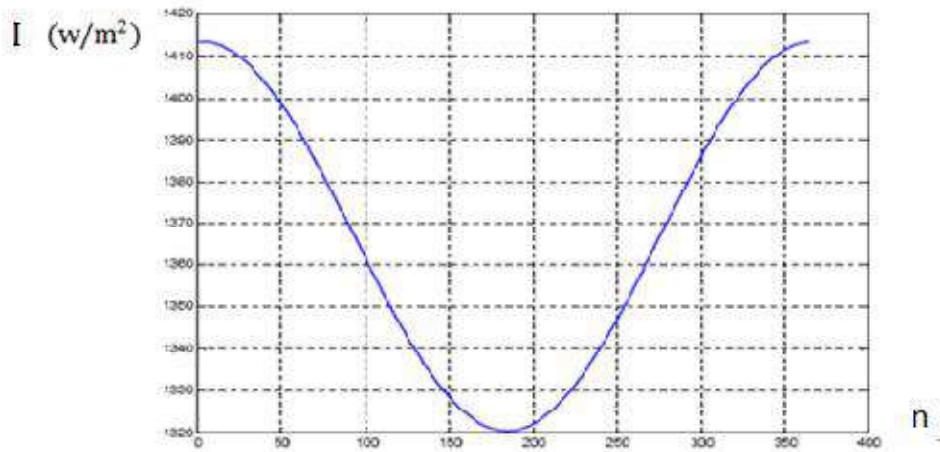
تعطى علاقة الثابت الشمسي خلال أيام السنة بالمعاملة (1-2) و الموضحة بالمنحنى البياني في

الشكل قيمته (1-4) التالي [8]:

$$I = I_0 \left[ 1 + 0.034[(n - 2)] \cos \frac{360}{356} \right] \quad (I - 2)$$

$I_0$ : الثابت الشمسي الواصل إلى طبقة الجو بالأرض، و قيمته المتوسط  $1367 \text{ W/m}^2$

$n$ : رقم اليوم من السنة إبتدا من 1 جانفي (1....365).



الشكل (I-6) الثابت الشمسي I بدلالة اليوم من السنة [6].

#### I-5 العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع الشمسي:

- تتأثر شدة الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى الأرض بعاملين أساسية هما : الغلاف الجوي و الزوايا الشمسية، و التي يسقط بها الإشعاع على الأرض و التي تتخذ أكثر المتغيرات التي تحدد هذين العاملين أسلوبا متناسقا يمكن به توقع شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض اعتمادا على مكانه من الكرة الأرضية و الزمن (اليوم و الشهر و السنة).

وتأتي التغيرات الغير متوقعة في شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض بسبب عوامل يصعب

التحكم فيها مثل الطقس وخصائصه من الحرارة وسحب و الرياح و الأمطار.....الخ.

لذلك لا يمكن تقدير تأثير الطقس خلال اليوم والشهر لموقع معين إلا بعد رصد العوامل المؤثرة فيه لعدة

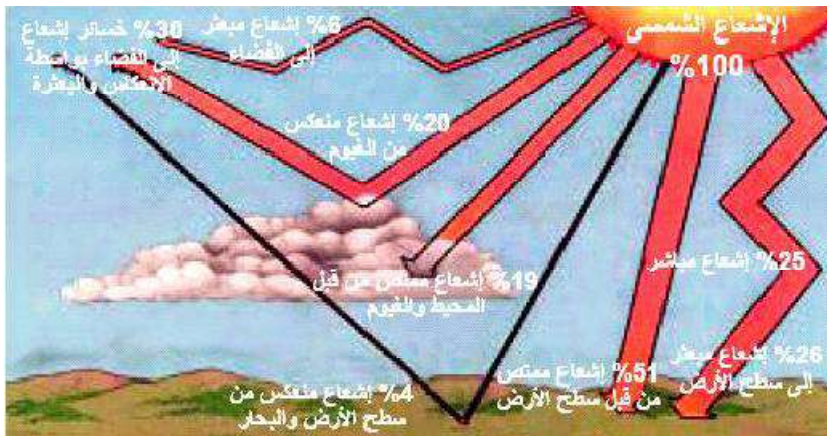
سنوات ومن ثم حساب متوسط هذه المعلومات لذلك اليوم او الشهر او تلك الفترة .

I-5-1 الغلاف الجوي:

يتكون الغلاف الجوي من طبقات يصل سمكها إلى عدة كيلو مترات فوق سطح الأرض . وعندما تخترق الأشعة الشمسية هذه الطبقات فان مسارها وكميتها ستتغير حسب كل طبقة وسمكها فغاز الأوزون مثلا (الموجود في الطبقة العليا في الغلاف الجوي على ارتفاع 48 كلم من سطح الأرض ) يمتص جميع الأشعة فوق البنفسجية [9] .

كما تلعب مكونات الغلاف الجوي دورا كبيرا في تقليص الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض وذلك عن طريق:

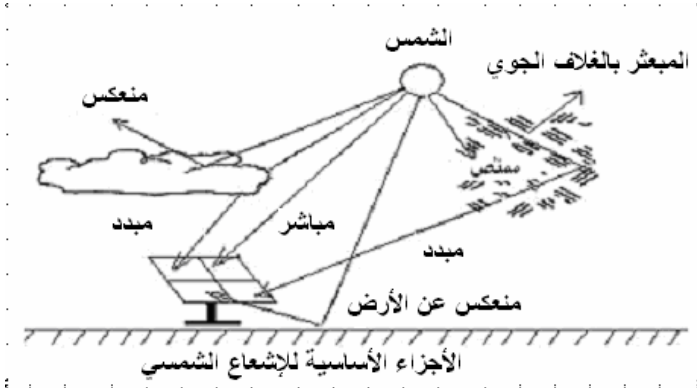
1. التشتت والامتصاص بسبب جزيئات الهواء
  2. التشتت و الامتصاص بسبب العوالق الصلبة في الجو
  3. الامتصاص بواسطة بخار الماء و غاز أول أكسيد الفحم وغاز ثاني أكسيد الفحم
  4. الانعكاس و الامتصاص من طرف السحب في طبقات الجو
- ومنه فان الإشعاع الشمسي الواصل على سطح الأرض ينقسم الى ثلاثة أقسام [9]:
- الإشعاع الشمسي المباشر:** وهو الإشعاع الساقط على سطح ما مباشرة من قرص الشمس.
- الإشعاع الشمسي المنتشر أو المشتت:** وهو الإشعاع الساقط على سطح الأرض ما بعد ان تشتت خلال مروره بطبقات الجو، أو هو الإشعاع الذي انعكس وسقط على ذلك السطح
- الإشعاع الشمسي الكلي:** وهو مجموع الإشعاع الشمسي المباشر و الإشعاع المشتت وعليه يكون تدفق الإشعاع الشمسي الكلي الواصل إلى نقطة من سطح الأرض هو مجموع الشعاعين المباشر و المنتشر
- $G = I + D$  [9].



الشكل (I-7): توزيع الإشعاع الشمسي في الغلاف الجوي وعلى سطح الأرض

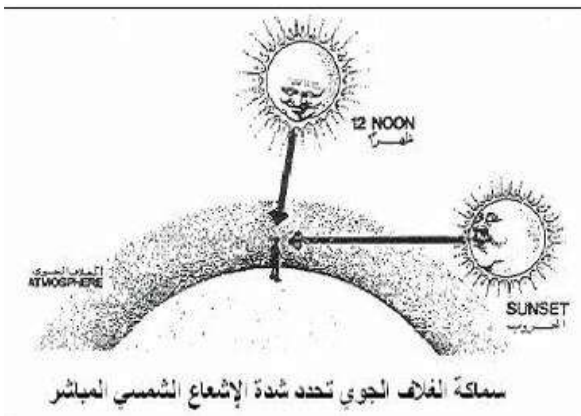
حيث تتكون مجموعة الإشعاعات التي ترتطم بسطح الخلية الكهروضوئية أو بمساحة معينة على سطح الأرض كما هو موضح في الشكل من ثلاث أجزاء أساسية :

1. حزمة الإشعاع المباشر ( Direct Beam Radiation ).
2. حزمة الإشعاع المبعثرة ( Diffuse Radiation ).
3. حزمة الإشعاع المعكوس ( Albedo Radiation ).



الشكل (I-8) : الأجزاء الأساسية للإشعاع الشمسي الساقط على سطح خلية شمسية .

بالإضافة إلى مكونات طبقة الغلاف الأكثر أهمية في تحديد المقدار الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض هو سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي عند منتصف النهار تكون الشمس عمودية و بتالي تكون سماكة الغلاف الجوي أصغر و طاقة الواصلة للأرض تكون أعظمية أم عند الشروق و الغروب فإن سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي تكون أعظمية وطاقته الواصلة للأرض تكون أصغر كما هو موضح في الشكل ولهذا السبب فإن حجم الطاقة للإشعاع الشمسي يكون مرتفع في المناطق ذات الارتفاع الكبير عن سطح البحر .



الشكل (I-9): تأثير سماكة الغلاف الجوي على شدة الإشعاع الشمسي المباشر

I-5-2 الزوايا الشمسية:

I-5-2-1 زاوية دائرة العرض  $\varphi$ :

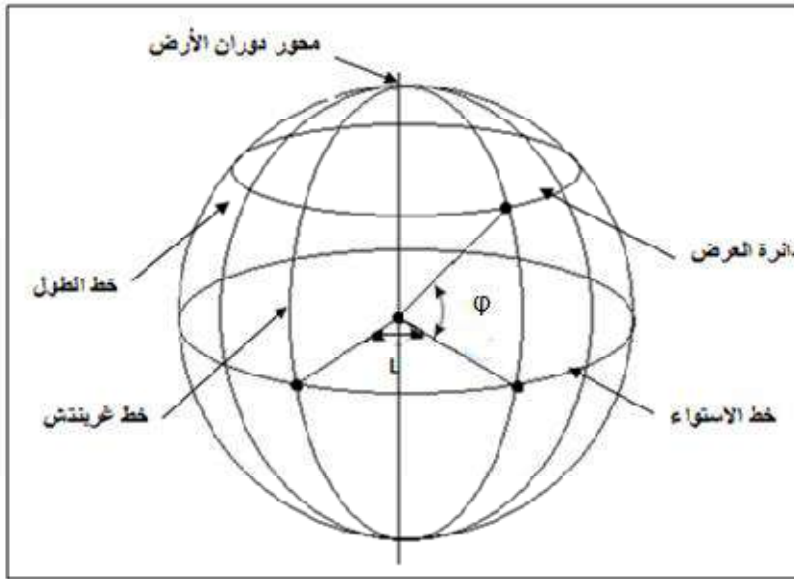
هي الزاوية المحصورة بين المتجه المار بنقطة على سطح الأرض ومركز الأرض ومسقطها على

خط الاستواء، ويتراوح مجال قيمتها  $[-90^\circ, +90^\circ] \in \varphi$  [10-6] كما هو موضح في شكل (10-I)

حيث:

$\varphi > 0$ : شمال خط الاستواء

$\varphi < 0$ : جنوب خط الاستواء



الشكل (10-I): زوايا تحديد الموقع (زاوية دائرة العرض  $\varphi$  وزاوية خط الطول  $L$ ) [7]

I-5-2-2 زاوية خط الطول  $L$ :

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار ببلدة غرينتش الذي

نعتبره خط الصفر، تقرأ الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا ، وتتحصر قيمتها ما بين :

$[-180^\circ, +180^\circ] \in L$  [11]، كما هو موضح في الشكل (10-I)

I-5-2-3 زاوية ساعة شمسية  $\omega$ :

الساعة الزاوية هي وحدة قياس الوقت بدلالة الزاوية ، بحيث كل ،  $1\text{heure} = 15^\circ$  أو

$24\text{heure} = 360^\circ$

أي  $0h=0^\circ=\omega$  وتقاس من الوقت الظهر الشمسي ويمكن استخراج قيمتها لأي ساعة من ساعات النهار من العلاقة التالية [12].

$$W = 15(Tvs - 12) \quad (I - 3)$$

عند الساعة 12 ( $\omega=0$ ) يمثل التوقيت الشمسي الحقيقي الذي يعتبر الزوال الشمسي **Tvs** حيث عند الزوال الشمسي  $\omega=0$ ،  $\omega>0$  مساءً بعد الزوال،  $\omega<0$  صباحاً قبل الزوال.  
I-5-2-4 زاوية الميل الشمسي  $\delta$ :

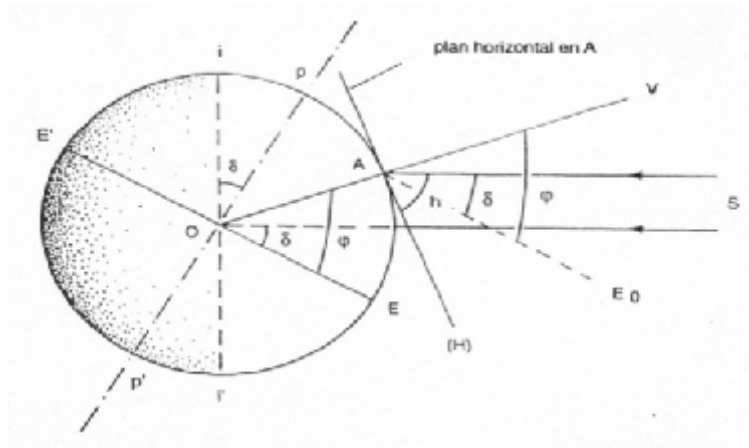
هي زاوية ميلان محور دوران الأرض عن المحور العمودي على مستوى مدار الأرض حول الشمس أو هي الزاوية التي يصنعها الخط الواصل من مركز الأرض الى مركز الشمس مع مستوى خط الإستواء .

تتغير هذه الزاوية على مدار السنة حيث تنعدم في الاعتدالين الربيعي ( 21 مارس) والخريفي (21 سبتمبر)، بينما تكون أعظمية عند الانقلاب الصيفي ( 22 جوان) " 23.45" والانقلاب الشتوي (22 ديسمبر) " +23.45" [13,14].  
 $+23.45^\circ \geq \delta - 23.45^\circ \geq$

نتيجة لذلك فإن زاوية الانحراف لأي يوم من السنة يمكن اعتبارها ثابتة وتحسب بالعلاقة التالية [13]

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365} (284 + n)\right) \quad (I - 4)$$

حيث n: تمثل رقم اليوم في السنة من 1 الى 365



الوثيقة (I-11) : زاوية الميل الشمسي

I-5-2-5 زاوية الارتفاع الشمسي h:

هي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين نقطة على سطح الأرض ومركز الشمس الأفقي الذي تمر فيه النقطة على الأرض. هذه الزاوية تساوي الصفر عند شروق وغروب الشمس وتأخذ القيمة العظمى عند وقت الزوال الشمسي هذه الزاوية مهمة في تحديد كمية الإشعاع الواصل الى سطح الأرض [13].

h=0 : عند شروق وغروب الشمس. h>0: في النهار. h<0 : في الليل.

وتكتب بالعلاقة التالية ل[15]

$$\sin(h) = \sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega \quad (I - 5)$$

I-5-2-6 زاوية السمات الشمسي a:

هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الأرض و المتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي للخط الواصل بين النقطة و الشمس هذه الزاوية تكون موجبة إذا كانت متجهة نحو الغرب [13]. a ∈ [-180°, +180°].

a = 0 مسقط الشعاع الشمسي منطبق على المحور جنوب.

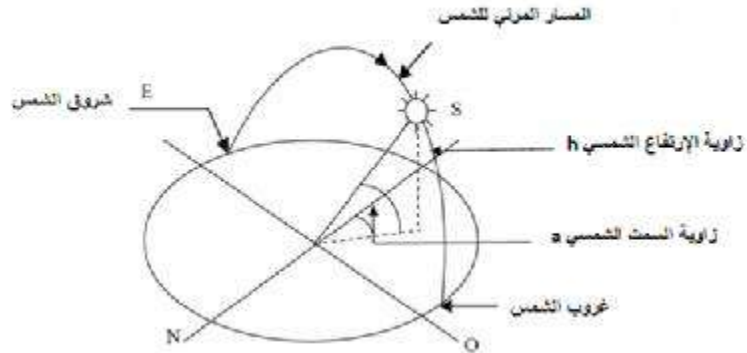
a > 0 مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الغرب.

a < 0 مسقط الشعاع الشمسي منحرف عن المحور جنوب باتجاه الشرق.

ويمكن حساب زاوية السمات بالعلاقة [15].

$$\sin a = \frac{\cos \delta s \cdot \sin \omega}{\cos h} \quad (I - 6)$$

هذين الزاويتين ممثلتين في الشكل (10.1)



الشكل (I-12) : الزوايا الشمسية

(h-a):

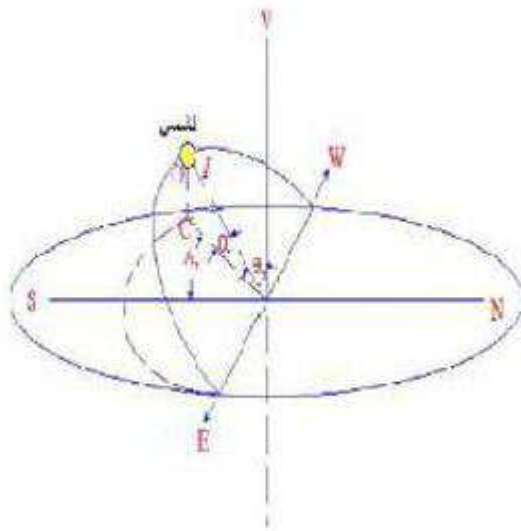
I-5-2-7 زاوية السمات الرأسية Z:

هي الزاوية بين الشعاع الشمسي وسمت الأرض (الخط الشاقولي المار بالموقع) وبذلك فهي متممة زاوية الأرتفاع الشمسي .

$$Z = \frac{\pi}{2} - h \quad (I-7)$$

ويمكن حسابها بالعلاقة التالية: [14]

$$\cos \theta z = \cos \delta s . \cos L . \cos \omega + \sin \delta s \sin L \quad (I-8)$$



الشكل (I-13): زاوية كل من السمات الرأسية والسمات الشمسي.

I-6 التوقيت الشمسي Tvs او المحلي TL.

يختلف التوقيت المحلي لمنطقة عن التوقيت الشمسي ويتعلق هذا الاختلاف بثلاث عوامل وهي:

- الفرق بين خطي الطول للمنطقة و الخط المرجعي للتوقيت المحلي (خط غرينتش)
- التصحيح الزمني (المعادلة الزمنية) Et و المعبرة عن الاضطراب الناتج عن حركة الأرض و

الذي يعطى بالعلاقة التالية بالدقائق [13].

$$ET = 9.87 \sin\left[\left(\frac{720}{365}Nj-81\right)\right] - 7.53 \cos\left(\frac{360}{365}Nj-81\right) - 1.5 \sin\left(\frac{360}{365}Nj-81\right) \quad (I-9)$$

- التصحيح الناتج عن التوقيت المحلي (الصيفي , الشتوي) مقارنة بتوقيت غرينتش الذي قيمته

في الجزائر C=-1 وعليه تعطى العلاقة علاقة التوقيت الشمسي Tvs [13].



$$T_{VS} = TL + ET \frac{L}{15} + C \quad (I - 10)$$

حيث  $L$  زاوية خط الطول التي تقع عليه المنطقة وتكون موجبة إذا كانت المنطقة شرق خط  
جرينتش بينما تكون سالبة غرب خط جرينتش

I-7 حساب شدة الإشعاع الشمسي المباشر و المنتشر:

التدفق المباشر:

تعطى عبارة الإشعاع المباشر الواصل إلى سطح الأرض من خلال صيغة  $Kastem$  [16].

$$I_s = 1353 \exp \left[ \frac{-mh * u}{mh + 9.4} \right] \quad (I - 11)$$

التدفق المنتشر :

لتحديد الإشعاع المنتشر الذي يصل إلى سطح الأرض بفعل جزيئات الغلاف الجوي وكذا العوامل الصلبة  
بالعلاقة التجريبية التالية [17]:

$$D_{os} = \left( \frac{1353}{25} \right) * (\sin(h) * (0.5 * (u - 0.5 - (\sin(h) * (0.5)))) \quad (1 - 12)$$

ومنه يكون الإشعاع الكلي الواصل لسطح الأرض هو مجموع الإشعاعيين المباشر و المنتشر.

$$G_{0=I_0}^* + D_0^* \quad (I - 13))$$

I-8 الكتلة الهوائية

نسميها الكتلة الهوائية (AM)، النسبة بين سماكة الغلاف الجوي التي يعبرها الإشعاع الشمسي

المباشر لتصل إلى الأرض والسماك المتقاطع عموديا للوصلة [18]. إنه يحدد مقدار الطاقة التي يمتصها

الغلاف الجوي كدالة لزاوية  $\theta$  للشمس بالنسبة إلى الذروة . [19]

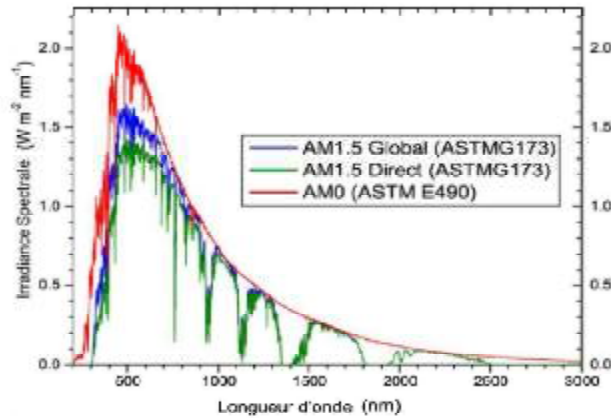
$$AM = \frac{1}{\sin\theta} \quad (I - 14)$$

لتجنب أي لبس، حدد المجتمع العلمي أطيف الطاقة الشمسية المرجعية، الموضحة في الشكل 1.4. يتم

نشر هذه الأطيف القياسية من قبل مؤسسة أمريكية و هي الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد

(ASTM). يتم تعريف الأطيف الثلاثة الأكثر استخداما على النحو التالي:

- AMO: طيف ASTM E-490 هو الطيف المرجعي لتطوير الخلايا الشمسية الفضائية. إنه يتوافق مع الطيف القابل للقياس خارج غلافنا الجوي. الطاقة المتكاملة لطيف AMO هي 1366 واط/م.
  - AM1.5G: يتوافق طيف ASTM C173 أو AM1.5G مع الطيف الذي تصادفه الوحدات الكهروضوئية التقليدية على سطح الأرض. يظهر باللون الأزرق في الشكل I-14، ويتميز عن AMO بالنطاقات الطيفية المفقودة بسبب امتصاص العناصر الكيميائية التي تشكل الغلاف الجوي للأرض. الطاقة المتكاملة لطيف AM1.5G هي 1000 واط /م. [20] تعرف هذه القوة بأنها تساوي الشمس. يعني مؤشر "G ل" عالمي" أن الطيف يشمل جميع أشعة الشمس، حتى تلك المنتشرة بواسطة الغلاف الجوي.
  - AM1.5D يتم تعريفه لنفس ميل الوحدات مثل طيف AM1.5G أو الطيف المباشر ؛ يأخذ في الاعتبار فقط الإشعاع الشمسي المباشر. [21] أنه يأخذ في الاعتبار فقط الأشعة ذات الوقوع الطبيعي فيما يتعلق بالأرض ولا يأخذ في الاعتبار الإشعاع المنتشر. الطاقة المتكاملة لهذا الطيف هي 900 واط / م<sup>2</sup>.
- هناك مصطلحات أخرى في تصنيف الأطياف الشمسية. على سبيل المثال، AOD (من اللغة الإنجليزية (Aerosols Optical Depth) هو مؤشر لشفافية الغلاف الجوي. يشير AOD الضعيف إلى سماء صافية للغاية، بدون جزيئات. AOD يشير إلى سماء ملوثة. تم إنشاء هذا المؤشر لمراعاة المناطق شديدة التلوث، مثل الصين أو الهند. بالنسبة للتطبيقات الكهروضوئية للتركيز، سيكون الطيف الموجي هو AM1.5D مع انخفاض AOD. [22].



الشكل (I-14): الأطياف الشمسية الرئيسية المستخدمة في المجال الكهروضوئي [22]

**I-9 قياس الإضاءة:**

هناك ستة أنواع من أجهزة استشعار الإضاءة التي تسمح باكتساب الإضاءة . كثافة إشعاع

الضوء العالمي :

**I-9-1 مقياس الحرارة:**

هو مستشعر تدفق حراري يستخدم لقياس كمية الطاقة الشمسية في الضوء الطبيعي. وهو يسمح

بقياس قوة الإشعاع الشمسي العالمي، بوحدة  $W.m^{-2}$ ، بواسطة قالب حراري محمي في الجزء العلوي منه

بواسطة كوبين زجاجيين نصف كرويين من ناحية للحماية الطبيعية ومن ناحية أخرى لقمع ظاهرة الحمل

الحراري (الشكل (a)-I-15) وعادة ما يتم إرفاقها بالقرب من الوحدات الكهروضوئية . وهي حساسة في

نطاق طيفي يتراوح  $300 \mu m$  إلى  $3000 \mu m$  وفقا لمعيار ISO 9060 «الطاقة الشمسية - مواصفات

وتصنيف أجهزة قياس الإشعاع الشمسي» [23]

**I-9-2 الثنائي الضوئي المرجعي :**

يستخدم خلية شمسية بلورية من السيلكون ذات مقاومة منخفضة للمقاومة ويتم استغلالها عند حد

تيار الدائرة القصيرة، أي في الجزء الخاص بالخاصية حيث يتناسب التيار تماما مع الإضاءة ( الشكل

(b)-I-15) . تتم معايرة هذا الثنائي الضوئي المرجعي المعرض لشمس إما باستخدام مقياس الحرارة او

تحت جهاز محاكاة الطاقة الشمسية .



(b)



(a)

الشكل (I-15): أجهزة قياس التشعيع (a): هو مقياس الحرارة و (b) : ثنائي الضوئي المرجعي

**I-9-1 وحدة قياس الضوء:**

يوجد العديد معرفة بعض وحدات قياس الضوء: الطرق المستخدمة لقياس الضوء، وتختلف

وحداتها باختلاف طرق قياسه، خلال النقاط التالية يمكن معرفة بعض وحدات قياس الضوء : [24]

- قياس الضوء بوحدة القنديلة ( بالإنجليزية: **Candela** ) : تدعى أيضا بالشمعة ( بالإنجليزية : candle ) ، وتكون هذه الوحدة عند قياس شدة الضوء في اتجاه محدد ، ويرمز لهذه الوحدة بالرمز . cd

- قياس الضوء بوحدة شمعة - قدم ( **Footcandle** ) : تكون على نمط قياس شدة إضاءة شمعة واحدة من بعد قدم واحد ، ويرمز لهذه الوحدة بالرمز fc أو ftc.

- قياس الضوء بوحدة لومن ( بالإنجليزية : **Lumen** ) : تقوم هذه الوحدة بحساب التدفق الضوئي ، ويرمز لها بالرمز lm

- قياس الضوء بوحدة اللوكس ( بالإنجليزية : **Lux** ) : تقدر وحدة لكس للإضاءة بلومن لكل متر مربع ، ويساوي اللوكس الواحد ما يقارب 2.83 متر .

**I-9-2 خصائص الضوء :** يمكن ذكر اهم خصائص الضوء من خلال النقاط التالية [25]

- النوع : إذا يتم تصنيفه حسب قوته او ضعفه ، حيث أن الضوء القوي يكون مسلط على نقطة ما دون تشتته ، إما الضوء الضعيف فقد يكون من مصدر منتشر او ان ليس لديه اتجاه محدد .
- الاتجاه: يختلف شكل الأشياء باختلاف زاوية سقوط الضوء.
- الشدة : تعتمد شدة الضوء عند نقطة معينة على مصدر الضوء المسلط عليها ، واتجاه اشعاع هذا الضوء [26].

**I-9-3 تاريخ قياس سرعة الضوء:**

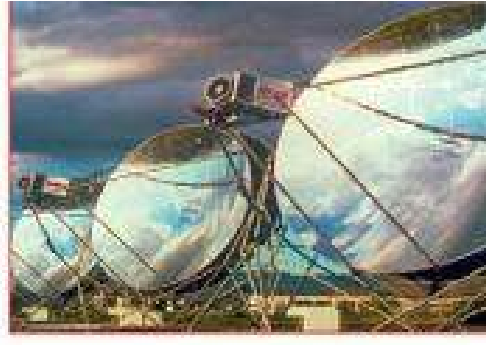
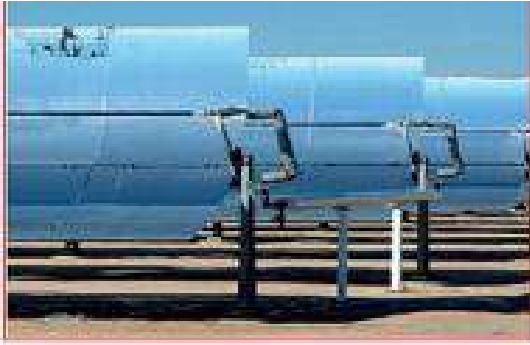
كان الاعتقاد السائد مسبقا ان الضوء ينتقل لحظيا وانه لا يمكن قياس سرعته ، ولكن تم قياس سرعة الضوء لأول مره بشكل صحيح في عام 1676 م من قبل العالم أولوس رومر ، والذي قد لاحظ أن سرعة انتقال الضوء تختلف ما بين الشمس و الأرض و كوكب المشتري نظرا لاختلاف المسافة فيما بينهم ، وقد قدر أولوس رومر سرعة الضوء ب 214,000 كيلومتر في الثانية الواحدة ، نظرا لأن المسافات بين الكواكب لم تكن معلومة بشكل دقيق في عام 1676 م [27].

**I-10 تحويل الطاقة :تقنيات الطاقة الشمسية المختلفة:**

هناك ثلاثة طرق أساسية لاستخدام الطاقة الشمسية المباشرة:  
الديناميكا الحرارية، الحرارية و الكهروضوئية .

**I-10-1 الطاقة الشمسية مع التركيز الديناميكي الحراري :**

وهي تقنية تستخدم المرايا التي تركز الطاقة الشمسية نحو أنبوب يحتوي على سائل نقل الحرارة الذي يسخن حتى درجة حرارة يمكن أن تصل إلى 500 درجة مئوية. يتم نقل الحرارة الناتجة إلى دائرة مائية، ثم يقوم البخار الناتج بتشغيل توربين مقترن بمولد ينتج الكهرباء. من المزايا العظيمة لهذه التقنية هي أنه يمكن تخزين الحرارة وبالتالي السماح بمخططات الطاقة الشمسية بإنتاج الكهرباء في منتصف الليل. تشكل المرايا التي تجمع الطاقة الشمسية (الموضوعة على بعد 4 أو 3 أمتار من الأرض) منطقة ظل على الأرض، ولكن هناك ما يكفي من الضوء لزراعة الفاكهة أو الخضار. يمكن استخدام جزء من المياه العذبة المتكونة في الموقع عن طريق التكثيف عند مخرج التربينات في الري [28].



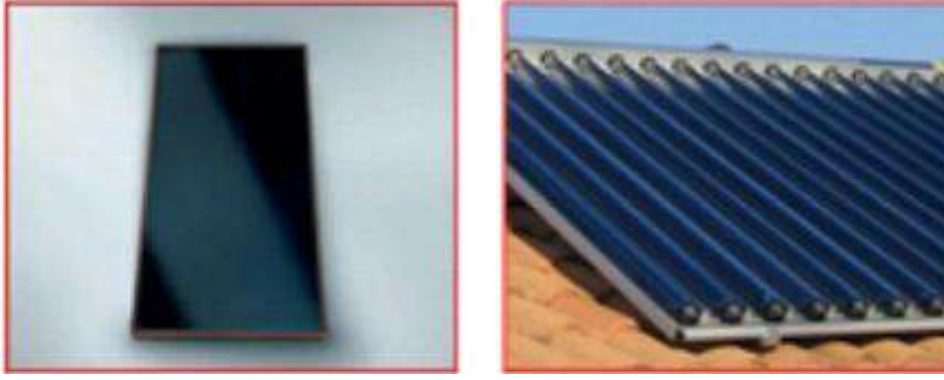
\_ مستشعرات ديناميكية حرارية أسطوانية

\_ مجسات مكافئة لديناميكا الحرارية

**الشكل (I-16) مثالان لمعايير التركيز الديناميكي الحراري****I-10-2 الطاقة الشمسية الحرارية : يتمثل مبدأ الطاقة الحرارية في تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة**

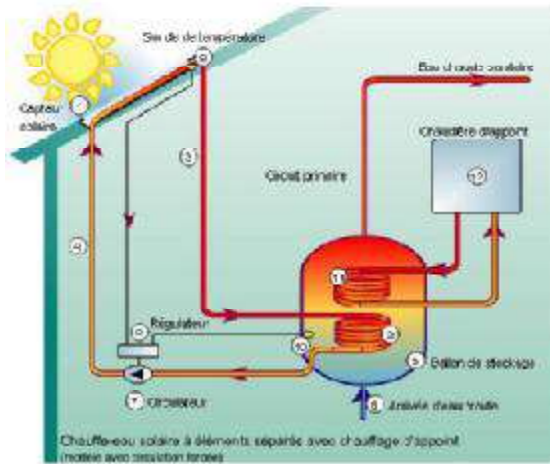
حرارية بفضل مائع يدور في ألواح معرضة للشمس **الشكل (I-17)**.

يمكن أن يكون هذا النوع من الطاقة مباشرة إذا كنت تريد تسخين المياه المنزلية فقط. من ناحية أخرى إذا قمنا بالرياح لتوليد الكهرباء، فسيكون من الضروري استخدام المولدات التي تحول الطاقة الحرارية المتولدة إلى كهرباء (على سبيل المثال إعادة تصنيع محركات الهواء).



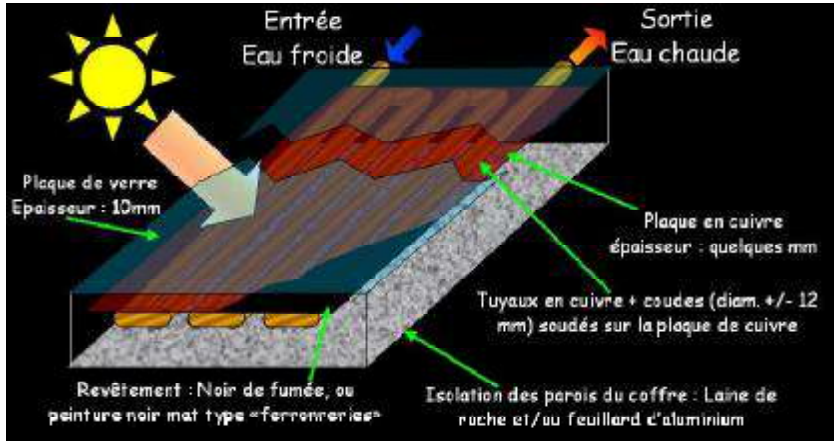
الشكل (17\_I): مثالان للوحدات الحرارية

يظهر مبدأ تشغيل الطاقة الحرارية الشمسية في الشكل (18-I). يمر الشعاع الشمسي عبر لوح زجاجي شفاف؛ بعد ذلك يتم امتصاص شعاع الضوء بعد تمرير اللوح الزجاجي بواسطة صفيحة معدنية سوداء تمتص ما يقارب 80 إلى 90 % من الأشعة الشمسية. بعد ذلك تنتقل الحرارة المتولدة بهذه الطريقة إلى دائرة مائية توفر دائرة ثانوية تزود المنزل بدورها صحية أو تدفئة.



- شكل (18-I) مبدأ تشغيل الطاقة الحرارية الشمسية .

يظهر تكوين الألواح الحرارية الشمسية في الشكل (19-I). يتكون من جسم معتم يمتص الإشعاع الشمسي أثناء التسخين؛ نظام تبريد باستخدام مائع نقل الحرارة ( الطاقة الناقلة): عازل حراري يقع على الوجوه غير المعرضة للإشعاع وغطاء شفاف على الوجه المكشوف، يهدف إلى ضمان تأثير الاحتباس الحراري داخل المجمع.



الشكل (19-I) تكوين الألواح الحرارية الشمسية

تستخدم الطاقة الحرارية من الإشعاع الشمسي لتدفئة المباني أو المياه الصحية. بالنسبة للأخيرة، من المثير لاهتمام معرفة أن تسخين المياه المنزلية في بعض البلدان يمثل حوالي 20% من إنفاق الطاقة للأسرة وإن الطاقة الحرارية الشمسية يمكن أن توفر 80% من إنفاق الطاقة. [29]

### I-10-3 الطاقة الشمسية الكهروضوئية :

وعلى عكس الطاقة الحرارية الشمسية التي تستخدم الشمس كمصدر للحرارة، تستخدم الطاقة الشمسية الكهروضوئية الشمس كمصدر للضوء عن طريق تحويل الضوئيات التي تصل إلى سطح الأرض إلى كهرباء. ينقل الكيمير الشمسي (فتونات) طاقته إلى الإلكترونات الموجودة في أشباه الموصلات (التي تشكل خلية ضوئية) هذا تحول (تأثير الكهروضوئي) بدون تأثير ميكانيكي، بدون ضوضاء، بدون تلوث وبدون وقود.

قام الفيزيائي الفرنسي أ.بيكريل بتفكيك التأثير الكهروضوئي في عام 1839. وتأتي كلمة "الضوئية" من كلمة "صورة" (من الكلمة اليونانية "Phos" التي يعني "himère") ومن كلمة "Volt" (اللقب. للفيزيائي السندرو فولتا الذي بطريقة مهمة جدا في البحث في الكهرباء) [29].

الفصل الثاني:

الخلايا الشمسية



**II-1 مقدمة:**

يعتمد مقدار الطاقة الصادرة من الخلايا الشمسية على الجهد والتيار اللذين تولدهما الخلايا الفردية، حيث أن الجهد هو فرق الجهد بين نقطتين ويتم قياسه بالفولت، والتيار هو قياس تدفق الشحنة الكهربائية عبر منطقة معينة ويتم قياسه بالأمبير وتولد الخلية الشمسية السيليكونية النموذجية ما بين 0.5 و 0.6 فولت حيث يختلف الإنتاج تبعاً لحجم الخلية، وبشكل عام فإن خلايا السيليكون النموذجية الناتجة تجارياً ينتج تياراً يتراوح بين 28 و 35 ملي أمبير لكل سنتيمتر مربع، ويمكن زيادة التيار والجهد عند تجميع مجموعة من خلايا مع بعضها البعض. [46]

**II-2 الخلية الشمسية :**

الخلية الشمسية أو الضوئية أو الكهروضوئية وكان يطلق عليها في الأيام الأولى لصناعتها بطارية شمسية ولكن أصبح ذلك يحمل معنى مختلف تماماً الآن [30]، جهاز يحول الطاقة الشمسية مباشرة إلى طاقة كهربائية مستغلاً التأثير الضوئي الجهدي ، وتتكون من طبقة السيلكون يضاف إليها بعض الشوائب لتعطيها بعض الخواص الكهربائية ، فالطبقة العليا المقابلة للشمس يضاف إليها عنصر الفسفور ، لتعطيها خاصية ضخ الإلكترونات عند ارتطام الضوئيات بها وتسمى هذه الطبقة بالطبقة N بينما يضاف عنصر البورون للطبقة السفلى ويعطيها خاصية امتصاص الإلكترونات وتسمى هذه الطبقة P ، فعند ارتطام ضوئيات الشعاع الشمسي بالطبقة العلوية تمنح الإلكترونات طاقة تعتمد على شدة الإشعاع الشمسي ، وعند وجود موصل كهربائي بين الطبقتين تنتقل الإلكترونات من الطبقة العليا إلى الطبقة السفلى وهكذا يتكون تيار وجهد كهربائيان ، وتعتبر الخلايا الشمسية مصدر هام لتزويد المركبات الفضائية والأقمار الصناعية بما تحتاجه من طاقة كهربائية ، وتعتبر من البدائل المساعدة لمصدر الطاقة التقليدية من البترول والفحم و الغاز ومشتقاته المحدودة في الطبيعة والقابلة لنضوب بسبب الاستنزاف الهائل لها ، فالخلايا الشمسية تحول طاقة الأشعة الشمسية مباشرة إلى كهرباء وتتميز بإنتاج كهرباء دون أن تؤدي لتلوث البيئة ، وعمرها الافتراضي يصل إلى 30 سنة ، أن ارتفاع كلفة إنتاجها هو العائق الرئيس لاستخدامها .

تستخدم التجمعات من الخلايا الشمسية ( وحدات الطاقة الشمسية ) لالتقاط الطاقة من ضوء الشمس لتحويله إلى كهرباء ، عندما يتم تجميع وحدات متعددة معا ( حيث تكون أولوية التركيب بنظام تعقب قطبي محمول ) يتم تركيب هذه الخلايا الضوئية كوحدة واحدة يتم توجيهها على سطح واحد وتسمى

بلوح الطاقة الشمسية (solar panel).. أن الطاقة الكهربائية الناتجة من الوحدات الضوئية solar (power). وتعتبر مثالا على استخدام الطاقة الشمسية (solar energy).

ان الخلايا الكهروضوئية هو مجال التكنولوجيا والبحوث المتعلقة بالتطبيق العملي في إنتاج الكهرباء من الضوء ، لكن وعلى الرغم من ذلك غالبا ما يستعمل على وجه التحديد بالإشارة الى توليد الكهرباء من ضوء الشمس .

## II-3 نبذة تاريخية عن الخلايا الشمسية (الكهروضوئية) :

الخلايا الشمسية هي إحدى أهم الاختراعات في العصور الحديثة والتي تمكن الإنسان بفضلها من تأمين جزء لا بأس به من احتياجاته اليومية للطاقة عن طريق تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية سواء بشكل مباشر أو غير مباشر.

وتعود فكرة الخلايا الشمسية إلى عام 1839م عندما اكتشف العالم الفرنسي إدموند بكار يل أنه في حال تعرض قطب كهربائي للضوء ومغروس في محلول موصل ينتج تيار كهربائي [31].

- وفي عام 1875م قدم فيرنر فورن سيمنز مقالا عن تأثير الضوئية في أشباه الموصلات في أكاديمية برلين للعلوم.
- وقد بنيت أول خلية شمسية وظيفية في عام 1883م من قبل تشارلز فيرتش، إذ لا تزال هذه الظاهرة اكتشافا سائدا حتى الحرب العالمية الثانية، حيث ظهرت خلية حقيقية أولى في عام 1930م من السيلينيوم، وقد أدت الأبحاث التي أجريت في فترة ما قبل الحرب الى تحسين أدائها وحجمها.
- وفي عام 1954م قام ثلاثة باحثين أمريكيين هما: تشابين وبيرسون وبيرنس بتطوير خلية ضوئية من السيليكون في مختبرات بيل (الهاتف) ويمكننا رؤية إمكانية توليد الكهرباء من خلال هذه الخلايا، وفي الوقت نفسه تبحث صناعة الفضاء الناشئة عن حلول جديدة ( بخلاف العملية النووية) لتشغيل سوا تلهها.
- أما في عام 1958م تم إرسال الأقمار الصناعية الأولى مع الألواح الشمسية الى الفضاء، مع تطوير خلية بمردود 9% في نفس الوقت إلا أن الحكومات والصناعات لم تكن تستثمر التكنولوجيا الضوئية حتى السبعينيات، وقد بذلت جهودا من أجل تخفيض تكاليف استخدام الطاقة الكهروضوئية في التطبيقات الأرضية.

- وفي عام 1973م تم بناء أول منزل مدعم بالخلايا الكهروضوئية في جامعة ديلاوير، وخلال الثمانينيات شهدت تكنولوجيا الطاقة الضوئية الأرضية تقدماً مطرداً مع إنشاء عدة ميغاوات وكان نمو هذه الصناعة مذهلاً، وبالأخص المنتجات منخفضة الطاقة التي تحمل الطاقة الشمسية مثل الساعات والآلة الحاسبة والإشارات الراديوية والطقس والمضخات الشمسية والثلاجات.
- وفي عام 1983م كانت أول سيارة مدعمة بالطاقة الشمسية تسافر مسافة 4000 كم في أستراليا.
- أما في عام 1995م أطلقت برامج أسطح ضوئية المتصلة بالشبكة في اليابان وألمانيا وانتشرت منذ عام 2001 [32].

## II-4 أشباه الموصلات النقية والغير نقية :

### II-4-1 المواد الشبه الموصلة النقية:

هي المواد التي تكون عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق ولكنها تمتلك قدراً من التوصيلية الكهربائية عند ارتفاع درجة حرارتها أو بإضافة شوائب أو أحداث عيوب في تركيبها البلوري وتمتلك هذه المواد حزمتين من الطاقة تبعا لنظرية الحزم للمواد الصلبة إحداهما مملوءة تماما بالإلكترونات وتمثل حزمة التكافؤ (valence band) الأخرى فارغة من الإلكترونات (Conduction band) وعند رفع درجة حرارة شبه موصل إلى حرارة أعلى من الصفر المطلق فإن عدد من الإلكترونات سوف تنتقل بعد اكتسابها طاقة كافية تكون مساوية أو أكبر من طاقة الفجوة من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل أما حزمة التكافؤ فإن الإلكترونات التي غادرتها سوف تترك مكانها فارغ تسمى بالفجوات والتي تملك أعداداً متساوية من حاملات الشحنة السالبة و الموجبة ( إلكترونات و فجوات ) أي أن كثافة الإلكترونات في حزمة التوصيل تساوي كثافة الفجوات في حزمة التكافؤ [33].

### II-4-2 المواد الشبه الموصلة الغير نقية:

هي عبارة عن مواد شبه موصلة نقية مطعمة بذرات مادة أخرى تسمى ( الشوائب ) حيث يعرف التطعيم على أنه 'إضافة ذرات معينة وينسب قليلة من المادة شبه موصلة نقية بزيادة توصيلتها [34].

### II-4-2-1 شبه الموصل النوع السالب N type somicondctor

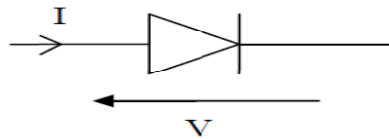
عند إضافة كميات معلومة من العناصر المجموعة الخامسة كالفسفور أو الزرنيخ أو الانتيمون إلى أشبه الموصلات النقية كالسيلكون مثلا فإن الذرات الشائبة التي لها خمسة إلكترونات تكافؤ تدخل في تركيب السيلكون وتكون روابط تساهمية مع الذرات الأربعة المحيطة لكل منها ويبقى إلكترون واحد معلق بالذرة الأم ، ان فصل هذا الإلكترون عن الذرة لا يحتاج إلى طاقة كبيرة حيث ان هذه الطاقة أقل بكثير من الطاقة اللازمة لنقل الإلكترون من حزمة تكافؤ إلى التوصيل في حالة أشباه الموصلات النقية . يوجد في هذا النوع عدد كبير من حاملات الشحنة السالبة ولهذا سمية بالنوع n.

### II-4-2-2 شبه الموصلة النوع الموجب P type somiconductor

إذا أضيفت كميات معلومة من عناصر مجموعة الثالثة من الجدول الدوري كالبرون أو الألمنيوم أو الإنديوم إلى أشباه الموصلات النقية كالسيلكون مثلا فسوف ينتج عن ذلك نوع جديد من أشباه الموصلات تكثر فيها الفجوات بدل من الإلكترونات ، إن ذرات الشوائب سترتبط مع السيلكون وتكون مع الذرات الأربعة المحيطة بكل واحدة فيها روابط تساهمية أما كانت ذرات الشوائب تحتوي على ثلاثة إلكترونات فقط في غلافها الخارجي فعليه سوف تبقى رابطة تساهمية واحدة تحتوي إلكترون وتحتاج إلى إلكترون لاستكمال البنية البلورية الإتيايدية لشبه موصل (إن الذرة الشائبة في هذه الحالة يمكن ان تكتسب بسهولة إلكترون من الروابط المجاورة فعندئذ تكتمل روابطها) ان هذه نوع نجد فيه فجوة موجبة (الأغلبية) لهذا سمي هذا نوع بنوع p.

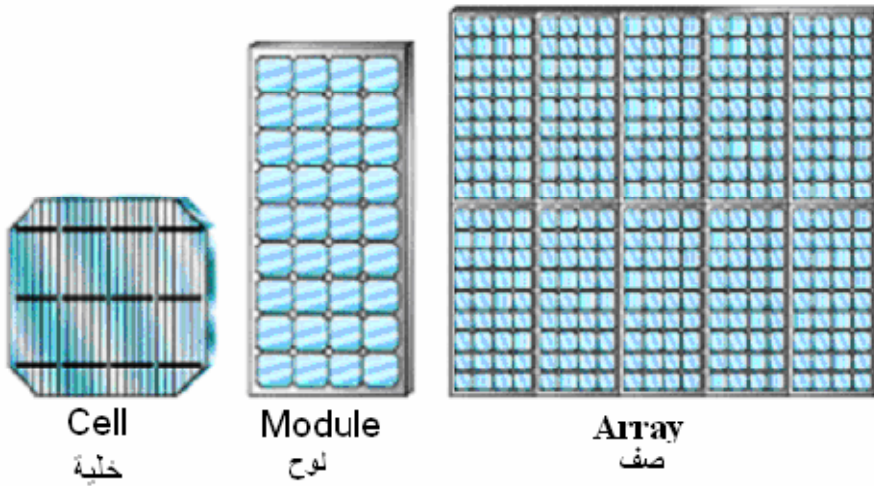
### II-5 الوصلة الثنائية NP

يتم الحصول على واصل ثنائية ( p\_n ) بأخذ نوعين من شبه موصل أحدهما من نوع p و الأخر من النوع السالب n بإصاقهما بحيث يلتحمان معا ، فتنتقل الإلكترونات عبر السطح الفاصل سطح (سطح الالتصاق) من المادة n لتلتحم مع الثقوب الموجودة في المادة ( p ) [35]. ويرمز لثنائي (الديود) في الدوائر الإلكترونية بسهم اتجاهه من منطقة المصعد إلى منطقة المهبط كالآتي [36].



### II-6 تعريف الخلية الكهروضوئية :

الخلايا الكهروضوئية ( الخلايا الشمسية) هي عبارة عن تكنولوجيا مصنوعة من مركبات نصف ناقلة، لها القدرة على تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية لتولد لنا تيار كهربائي مستمر DC وتسمى هذه الظاهرة بتأثير الفوتوضوئية [37\_38]، كما يمكن اعتبار الخلية الكهروضوئية بأنها ديود شبه موصل ذو مساحة كبيرة كما أن أغلب الخلايا الشمسية تصنع من مادة السيليكون (Si)[39]. يطلق على الخلايا المجمعة معا بلوح الطاقة الشمسية وتجمع الألواح بطريقة مشابهة لنحصل على مصفوفة من الألواح الشمسية والتي نقوم بربطها بشبكة الكهرباء بعد أن نقوم بتحويل التيار المباشر الى تيار متردد باستخدام محولات خاصة لهذه العملية [40].



الشكل (II-1): خلية كهر وشمسية ولوح كهر وشمسي وصف كهر وشمسي [41].

## 7-II كيفية صنع الخلية الشمسية :

تصنع الخلايا الشمسية غالبا من مادة السيليكون المستخرج من صخور أو رمال السيليكا النقية، ثم نقوم بصهر هذه الصخور في أفران خاصة لإنتاج السيليكون الخام بنقاوة لا تتجاوز 95% وبعدها تعالج كيميائيا لزيادة نسبة النقاوة لتصل الى 99.99% لإنتاج بلورات السيليكون التي تستخدم في الإلكترونيات الدقيقة وبنقاوة أقل نسبيا لاستخدامها في تصنيع الخلايا الشمسية. ثم تأخذ رقائق السيليكون هذه ليتم معاللة أسطحها كيميائيا، وبعدها تضاف طبقة من مادة الفوسفور أو البورون لأجل تكوين وصلة ثنائية p\_n junction قادرة على فصل حاملات الشحنة المنتجة عند التعرض لأشعة الشمس، يتم استخدام مادة تدعى نيترات السيليكون لطلاء سطح الخلية واكسابها اللون الأزرق الذي يقوم بمنع عملية الانعكاس للأشعة. وبعدها تتم عملية طباعة شبكة

الموصلات الفضية على السطح الأمامي وشبكة الألمنيوم على السطح الخلفي مع معالجتها حراريا ومنه تصبح الخلية جاهزة لإنتاج الكهرباء [40].

## II-8 طريقة عمل الخلية الكهروضوئية :

من الشكل التالي نلاحظ انه عند سقوط ضوء الشمس على الخلية يمر هذا الضوء من خلال سطح الخلية ويمتص جزء منه بواسطة الطبقة الأولى وهي الطبقة التي تحتوي على فسفور أما أغلبية الضوء الساقط على هذه الخلية فيقوم بامتصاصه الجزء الخاص بذلك وهي الطبقة التي تحتوي على خليط السيلكون البورون حيث يتكون من خلال هذه العملية إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال وصل كهربائي في أطراف الخلية وتزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على هذه الخلية من هنا يمكننا توصيل حمل كهربائي على أطراف هذه الخلية والاستفادة من حركة الإلكترونات الناتجة من تسليط ضوء الشمس على الخلية [43].

## II-9 التكنولوجيا المختلفة للخلايا الشمسية:

II-9-1 خلايا شمسية أحادية البلورة: وهي عبارة عن خلايا قطعت من بلورة سيلكون مفردة وكفاءة هذا النوع من الخلايا من 11 إلى 16% مما يعني أن امتصاص الخلايا من الإشعاع القادم من الشمس الذي تبلغ قوته 1000 وات لكل متر مربع وذلك في يوم مشمس بالقرب من خط الإستواء أي ان الواحد متر مربع في هذه الخلايا يمتص الإشعاع الشمسي بهذه الكفاءة ينتج ما بين 110 إلى 160 واط و هو ذو كفاءة عالية مقارنة بالأنواع الأخرى ولكنه مكلف اقتصاديا .

## II-9-2 خلايا متعددة البلورة : وهي عبارة عن رقائق من السيلكون كشطت من بلورات سيلكون

اسطوانية ثم تعالج كيميائيا في أفران لزيادة خواصها الكهربائية وبعد ذلك تغطي أسطح الخلايا بمضاد الانعكاس لكي تتمتع الخلايا أشعة الشمس بكفاءة عالية وكفاءة هذا النوع من 9\_ 13 % وهو أقل كفاءة من البلورة الأحادية ولكنه أقل تكلفة إقتصاديا .

## II-9-3 خلايا شمسية غير متبلورة : وفيها مادة السيلكون تترصص على هيئة طبقات رقيقة

على أسطح من الزجاج أو البلاستيك لذلك فإن تصنيع هذه الخلايا يتم بتقنية سهلة ولكن كفاءتها أقل من 3\_6% وأسعارها أيضا أقل . وهي مناسبة لتطبيقات من 40 واط إلى ما أقل وكفاءته وتكلفته أقل من الأنواع المذكورة. تتسم هذه المتوجات بأن الخلايا مدعمة بإطار من الألمنيوم للحماية و أيضا بزوج من

الدايود للحماية الكهربائية. تطبيقات استخدام الخلايا في مجال الاتصالات عن بعد ( شبكات المبايل ) في المؤسسات الضخمة \_ الحماية الكاثودية \_ مضخات المياه \_ أنظمة الإضاءة .

ثانيا أجهزة التحكم في الشحن ( controllers battry charge ) لأن استمرار شحن البطارية بعد تمام شحنها يعرضها للتلف وأيضا سحب الشحن من البطارية عند قرب تفريغ البطارية يتلفها أيضا لذلك يجب وجود متحكم يعمل على فصل البطارية بمجرد أن يتم شحنها ووفق عملية سحب الفولط منها .

وهذه المتحكمات موديلات تتراوح :1-8 أمبير ( 12 فولط إلى 24 ) حيث يستخدم في أنظمة الإضاءة الصغيرة ونظم الخلايا المنزلية وأيضا يستهلك ثمن ميلي أمبير . يتحكم في بطارية جهدها 12 فولط إلى 24 وشدة التيار 10 أمبير يستخدم في تطبيقات الخفيفة المتوسطة . متحكم التطبيقات المتوسطة 30 أمبير وهو مزود بشاشة يستخدم في إضاءة الشوارع والاستخدامات التجارية وأيضا أنظمة الحماية.متحكم 960 أمبير يستخدم في مقويات موجات الميكروويف (أبراج تقوية شبكات المحمول ) . [45]

## II-10بنية (تركيب) الخلية الشمسية

تحتوي الخلايا الشمسية على مواد شبه موصلة (مثل السليكون ، والفوسفيد الإنديوم، و سيلينايد الإنديوم النحاسي ) والتي تعمل على تحويل الطاقة الضوئية للشمس إلى طاقة كهربائية ، وتحتوي بشكل أساسي على طبقة مضادة للانعكاس لتقليل فقدان الضوء ، وعادة ما تتكون الطبقة المضادة للانعكاس من أكسيد السيليكون ، أو التيتانيوم ، الذي يتشكل على سطح الخلية عن طريق الطلاء المغزلي أو تقنية الترسيب بالفراغ ، ويوجد تحت الطبقة المضادة للانعكاس ثلاث طبقات رئيسية وهي : طبقة التوصيل العليا ، والطبقة الممتصة ، والطبقة الخلفية . كما تحتوي الخلية على طبقتين كهربائيتين موجبة وسالبة، طبقة تلامس كهربائي ( الموجبة ) والتي توجد على وجه الخلية وتتكون من شريحة مأخوذة من بلورات السيلكون الاحدية مضاف إليها بعض الشوائب من عنصر ثلاثي التكافؤ مثل البورون ، وطبقة الاتصال الكهربائي الخلفية ( سالبة ) والتي تتكون من السيلكون النقي و المضاف إليها بعض الشوائب لعنصر خماسي التكافؤ مثل الفسفور ، وتعمل كطبقتين معا على نقل تيار كهربائي من و إلى الخلية الشمسية [48,47]

II-11 مبدأ التشغيل: التأثير الكهروضوئي هو التحويل المباشر للطاقة الكهرومغناطيسية ( الإشعاع ) إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام من النوع المستمر .

مع كل فوتون، نربط طاقة  $E_{ph}=hv$  حيث  $v$  هو التردد المرتبط بطول موجة الفوتون  $(\lambda=c/v)$  ، مع  $c$  سرعة الضوء في الفراغ). الانتقال من طاقة الفوتون  $E_{ph}$  إلى الطول الموجي، نستخدم العلاقة التالية:

$$E_{ph} = \frac{1/24}{\lambda} \quad (II - 1)$$

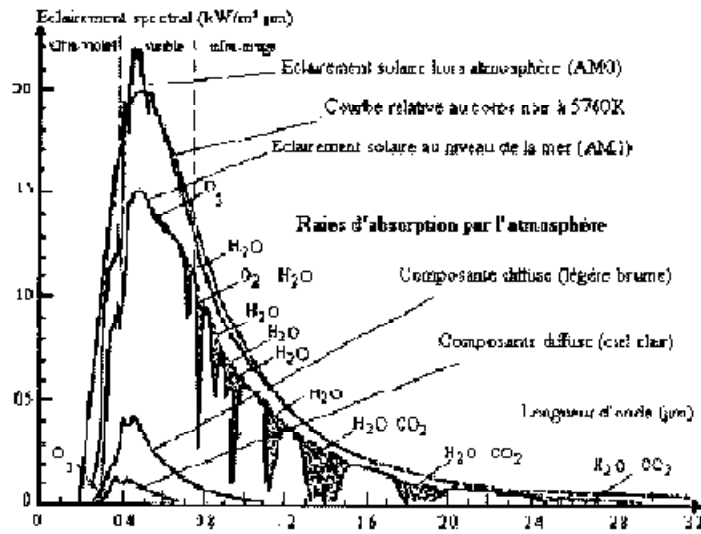
الخلية الشمسية حساسة فقط في نطاق طول موجي معين و فقط مادة شبه موصلة لها ضيق النطاق اللازم للتوليد، من الإشعاع الشمسي، من أزواج الإلكترون / النيوب الصالحة للاستخدام.

في الواقع، في المعدن كل المستويات الأعلى من مستوى فيرمي مسموح بها وبالتالي من المرجح أن يتم امتصاص جميع الأطوال الموجية. ومع ذلك، فإن أزواج الإلكترون / النيوب المتولدة تتحد على الفور تقريبا، مما لا يترك أي إمكانية لاستغلالها.

تحتوي المادة العازلة على فجوة لا تقل عن 8 eV. يجب أن توفر صورة الحادث، للتفاعل مع الإلكترون، طاقة أكبر من 8 eV ، والتي تتوافق مع  $\lambda < 0.15 \mu m$  (UV) ، وهو مجال لا يغطي الإشعاع الشمسي.

في أشباه الموصلات يحدد هيكل نطاقات التوصيل والتكافؤ فجوة أصغر مما في حالة العوازل: من 0.3 إلى 2 أو 3 فولت.

وتجدر الإشارة إلى أن طيف الطاقة الشمسية في الغلاف الجوي للأرض ويتجه نحو الأحمر والأشعة تحت الحمراء مقارنة بالطيف خارج الغلاف الجوي. [49]



الشكل (II-2): مثال عن الطيف الشمسي [49]

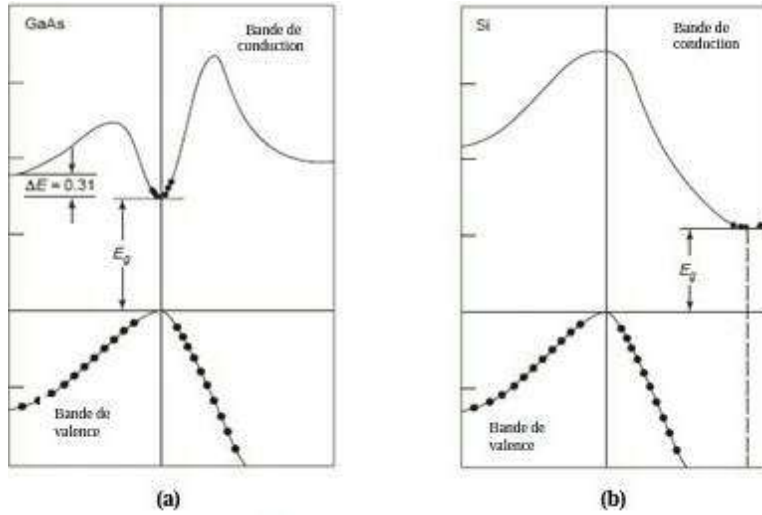


تتراوح الأطوال الموجية ( $\lambda$ ) للإشعاع الشمسي الأرضي بين 0.2 ميكرومتر ( فوليت فائق) و 4 ميكرومتر ( الأشعة تحت الحمراء ) مع طاقة قصوى تبلغ 0.5 ميكرومتر . 97.5 % من الطاقة الشمسية تتراوح بين 0.2 ميكرومتر و 2.5 ميكرومتر . من 0.4 ميكرومتر إلى 0.78 ميكرومتر، يتوافق الطيف مع المجال المرئي. لذلك ، تمنح مستشعرات الطاقة الشمسية التوافق مع هذه الأطوال الموجية من أجل التمكن من التقاط الفوتونات واستعادتها في شكل حرارة أو إلكترونات. يعطي الجدول II-1 قيم الطاقة المميزة للفوتونات لأطوال موجية مختلفة، بالإضافة إلى المناطق المقابلة لطيف الضوء [49].

المنطقة	$E_{ph}(ev)$	$\lambda (\mu m)$
فوق بنفسجي	6.2	0.2
ازرق مرئي	3.1	0.4
اصفر اخضر مرئي	2.48	0.5
احمر مرئي	1.59	0.78
الأشعة تحت الحمراء	1.24	1
الأشعة تحت حمراء	0.62	2
الأشعة تحت الحمراء	0.31	4

الجدول(II-1): قيم طاقة الفوتونات من الطيف الشمسي . [49]

إذا تزامن الحد الأدنى لنطاق التكافؤ، يقال أن الفجوة مباشرة، وبالتالي تكون الإنتقالات مباشرة وإشعاعية. في حالة السيليكون، تكون الفجوة غير مباشرة : فالترجمات الإلكترونية بين أقصى النطاقات مائلة، وبالتالي فهي ليست إشعاعية نابضة بمعنى أنها تعني تغييرا في متجه الموجة للإلكترون. ومع ذلك ، يمكن أن تتأثر الإلكترونات الموجودة في الجزء العلوي من نطاق التكافؤ مباشرة إلى الحد الأدنى النسبي المركزي من نطاق التوصيل بواسطة فوتون أكبر. لكي يحدث الانتقال في الفجوة غير المباشرة ، يجب أولا امتصاص (أو إصدار) فوتون بواسطة الإلكترون، بحيث يتوافق متجه الموجة لهذا الأخير مع الحد الأقصى لنطاق التكافؤ، لامتنصاص فوتون. لاحظ أن قيمة الفجوة غير الصحيحة للسيليكون هي 1.12 فولت عند 300 K ( وهو ما يتوافق مع طول موجة 1107 نانومتر ). لكن الفجوة المباشرة الأولى هي 3.4 فولت ( 365 نانومتر).



الشكل ( 3-II ):منحنيات التشتت: (a) مع فجوة مباشرة؛ (b) مع فجوة غير مباشرة [50]

## 12-II تبين طاقة فجوة النطاق:

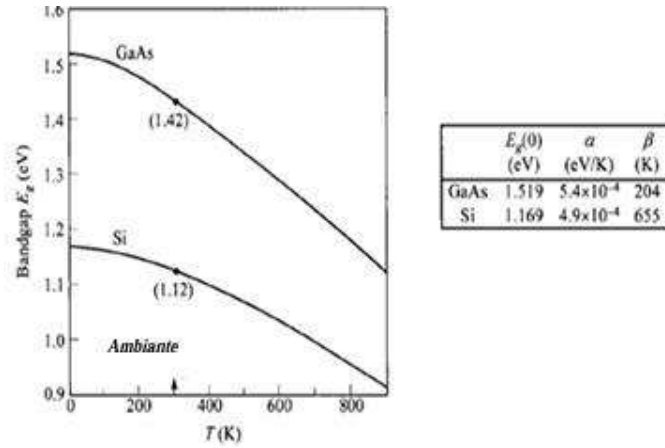
عند درجة الحرارة المحيطة وتحت الضغط الجوي العادي، تكون قيم فجوة النطاق 1.12 فولت للسيليكون و 1.42 فولت في حالة الغاليوم . هذه القيم للمواد عالية النقاء . بالنسبة للمواد المخدرة بشدة، تصبح شرائط الفجوة أكثر شحوبا. تظهر الاختلافات في نطاقات الفجوة كدالة في لدرجة حرارة السيلكون. نهج نطاق الفجوة عند 1.17 فولت و 1.52 فولط على التوالي لهذين الاثنين أشباه الموصلات عند 0 K . يمكن التعبير عن فوتون نطاقات الفجوة مع درجة الحرارة تقريبا بواسطة دالة مقترحة من قبل

فارشمي [54][55]:

$$E_g(T) = E_g(0) - \frac{\alpha T^2}{(T + \beta)} \quad (II - 2)$$

حيث  $E_g(0)$ ،  $\alpha$ ،  $\beta$  معطاة في جدول الشكل ( 1.2 ). معامل درجة الحرارة سالب لكل من أشباه

الموصلات. [56]



الشكل (II-4): طاقة فجوة النطاق للسيليكون و الغاليوم كدالة لدرجة الحرارة [56]

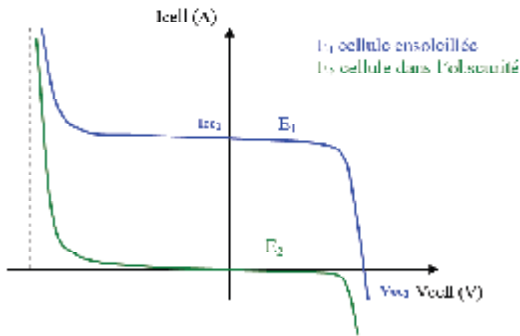
### II-13 الخصائص الكهربائية للخلايا الشمسية:

#### II-13-1 الخصائص I(V) :

تتميز الخلايا الكهروضوئية بخاصية غير خطية I(V) الشكل (II-5). نكتسح الخلايا الكهروضوئية

3 أرباع من الأربعة الموجودة. [51]

الخلايا الكهروضوئية هي جهاز استقبال في الربع 2 وفي الربع 4. يجب تجنب التشغيل في هذين الربعين لأن خطر التدمير بسبب ظاهرة التسخين المحلية ( نقطة ساخنة) ممكن. العملية في الربع 1 هي عملية عادية، في الواقع في هذه الحالة تكون الخلايا عبارة عن مولد، لذلك فهي تنتج الطاقة. الهدف إذن هو جعل الخلايا تعمل في هذا الربع.

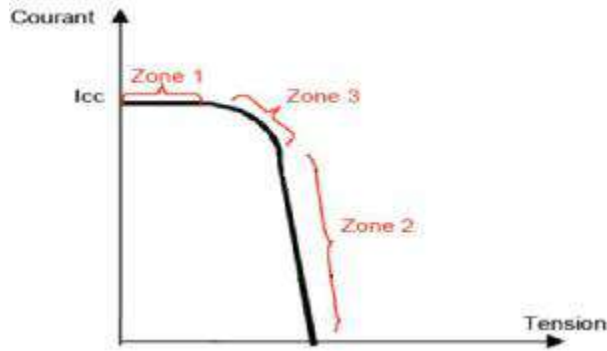


الشكل (II-5): خاصية I-V

لخلايا كهروضوئية .

يتراوح جهد الدائرة المفتوحة (VOC) للخلايا الكهروضوئية بين 0.3 فولت و 0.7 فولت اعتمادا على المادة المستخدمة ودرجة الحرارة وحالة الشيخوخة. يختلف تيار الدائرة القصيرة (ISC) بشكل أساسي وفقا لمستوى الإضاءة ووفقا للتقنيات وأحجام الخلايا ( بين 5 و 8 أمبير للسيليكون البلوري ).

## II-13-2 مناطق التشغيل للوحدة الكهروضوئية



الشكل (II-6): الخصائص  $I(V)$  للخلية ورابطة من ثلاث فروع متوازية لكل منها خليتان على التوالي

تختلف الخصائص الكهربائية للوحدة الكهروضوئية وفقاً لدرجة الحرارة والإضاءة وظروف التشغيل بشكل عام عندما يكون متصل بحمل معين. نذكر بإيجاز في هذه الفقرة سلوك مولد السوم تحت قيود مختلفة. هذه المفاهيم ضرورية بالفعل لفهم سلوك المولد الكهروضوئي ثم تنفيذ تحسينات التشغيل.

يمكننا تقسيم الخاصية  $I(V)$  للمولد الكهروضوئي إلى 3 مناطق :

- منطقة مماثلة لمولد تيار  $I_{CC}$  المنتاسب مع الإشعاع، والقبول الداخلي الذي يمكن نمذجه بواسطة  $R_{sh}/I$  ( المنطقة 1 ) ،
- منطقة مماثلة لمولد الجهد  $V_{OC}$  مقاومة مكافئة لسلسلة المقاومة  $R_s$  ( المنطقة 2 ) ،
- منطقة تختلف فيها المقاومة الداخلية للمولد بشدة  $R_s$  إلى  $R_{sh}$  منطقة (3). تقع نقطة التشغيل التي تكون الطاقة التي يوفرها المولد بحد أقصى في ( المنطقة 3). تسمى هذه النقطة بنقطة الطاقة المثلى، والتي تتميز بعزم الدوران  $(I_{max}, P_{max})$ . فقط الحمل، الذي تمر صفته عبر هذه النقطة، هو الذي يجعل من الممكن استخراج أقصى طاقة متاحة في ظل الظروف المدروسة. [52]

## II-13-3 الدارة المكافئة لخلية كهروضوئية

الخلية الكهروضوئية في الظلام هي صمام ثنائي. في الحالة المثالية، يعطى التيار المتدفق في الخلية

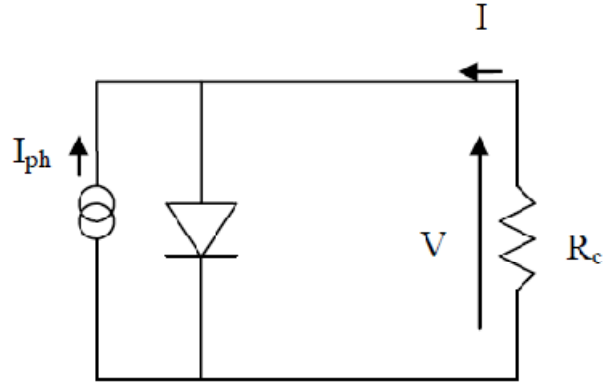
بالعلاقة [53]:

$$I = I_s \left[ \exp \left( \frac{q \cdot V}{k \cdot T} \right) - 1 \right] \quad (I - 3)$$

عندما تضيء الخلية، يصبح التيار المتدفق فيها :

$$I = I_s \left[ \exp\left(\frac{qV}{kT}\right) \right] - I_{ph} \quad (I - 4)$$

الشكل (II-7): دائرة مكافئة لخلية كهروضوئية

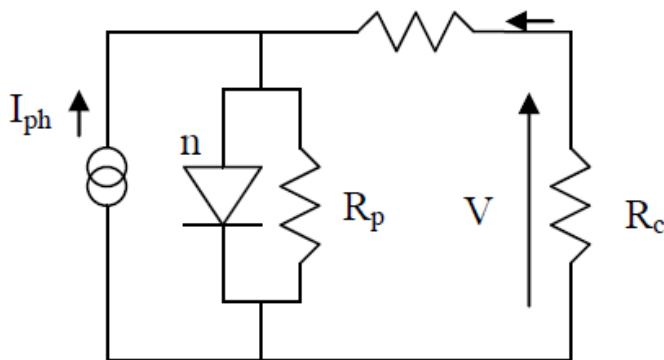


RC: مقاومة الحمل المتصل بالخلية

في الواقع، يجب إضافة مقاومة متسلسلة كهربائية  $R_s$  لتمثيل مقاومة اسلاك التوصيل. يجب إضافة المقاومة الموازية  $R_p$  (المقاومة التحويلية باللغة الانجليزية) والذي يأخذ في الاعتبار الدوائر القصيرة في الخلية (الشكل II-8). ترجع هذه الدوائر القصيرة في الخلية الى تنظيم المواد و الى التيارات الضائعة و بذلك يتم إعطاء التيار من خلال العلاقة :

$n$  : عامل المثالية للدايود.

$$I = \frac{R_c}{R_s + R_c} \left[ s \cdot \left[ \exp\left(q \left(\frac{V - I R_s}{n k T}\right)\right) - 1 \right] + \frac{V}{R_s} - I_{ph} \right] \quad (I - 6)$$



الشكل (II-8) : الدائرة

المكافئة لخلية كهروضوئية

**الفصل الثالث :**

**نمذجة ومحاكاة خلية شمسية**

### III-1 الدارة الكهربائية المكافئة. النمذجة الكهربائية للخلية الكهروضوئية.

عندما نسلط الضوء على الوصلة PN المصنوعة من مواد حساسة للضوء ، فإنه يتميز بقدرته على العمل كمولد للطاقة. يمكن وصف هذا السلوك الساكن بالمعادلة الكهربائية التي تحدد سلوك الصمام الثنائي الكلاسيكي المسمى نموذج الصمام الثنائي الأكثر ذكوا في المراجع المتخصصة.

تتميز الوحدة الكهروضوئية بمخططها الكهربائي المكافئ الذي يتكون من: [1]

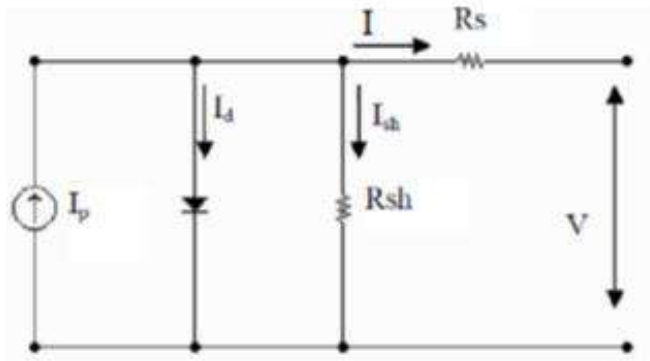
1- مصدر تيار يقوم بنمذجة تحويل التدفق الضوئي إلى طاقة كهربائية

2- صمام ثنائي بالتوازي يمثل الوصلة PN.

3- المقاومة المتوازية Rsh التي تمثل التيارات الضائعة في صمام الخلية

4- المقاومة المتسلسلة Rs الذي يمثل مختلف مقاومات الاتصال والاتصال،

نمثل المخطط المكافئ بالدارة المبينة في الشكل التالي [2] :



الشكل (III-1) الدارة المكافئة للخلية الشمسية

بتطبيق قانون كيرشوف يمكن كتابة التيار الناتج:

$$I_{ph} = I + I_d + I_{sh} \quad (III - 1)$$

$$I_d = I_s \left[ e^{\frac{q(V - I_s)}{nkT}} - 1 \right] \quad (III - 2)$$

$$I_{sh} = \frac{V + I_s}{R_{sh}} \quad (III - 3)$$

$$I = I_{ph} - I_s \left[ e^{\frac{q(V - I_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V + I_s}{R_{sh}} \quad (III - 4)$$

### III-2 المعاملات الأساسية للخلية الشمسية:

من اجل دراسة الخلية الشمسية فيزيائيا، كهربائيا ، زمنيا، جغرافيا، بيئيا و طاقويا في الواقع الحقيقي و بالمحاكاة نناقش كثيرا من القيم الأساسية المميزة للخلية الشمسية منها:

#### III-2-1 تيار الدارة القصيرة $I_{cc}$ [3]

نحصل على هذا التيار لما يكون الجهد بين طرفي الدارة معدوم، حيث يزداد خطيا مع شدة الإضاءة، ويتعلق بالسطح المضاء، طول موجة الإشعاع، ودرجة الحرارة. تيار الدائرة القصيرة  $I_{cc}$  هو قيمة التيار عندما يكون التوتر معدوما ( $V=0$ ) ، في الحالة المثالية ( $\infty = R_s$  و  $R_{sh}=0$ ) يندمج هذا التيار مع  $I_{ph}$  التيار الكهروضوئي (التيار الفتوني). على عكس ذلك، بانعدام التوتر ( $V=0$ ) في المعادلة (III - 4)، نحصل على:

$$I_{cc} = I_{ph} - I_s \left[ e^{\frac{q(I_{cc}R_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{I_{cc}R_s}{R_{sh}} \quad (III - 5)$$

من اجل مقاومة متسلسلة ضعيفة (و هي حالة معظم الخلايا الشمسية ) يمكن إهمال الحد  $I_s \left[ e^{\frac{q(V - I_s)}{nkT}} - 1 \right]$  و منه القيمة التقريبية لتيار الدارة القصيرة  $I_{ph}$  امام

$$I_{cc} \cong \frac{I_{ph}}{\left(1 + \frac{R_s}{R_{sh}}\right)} \quad (III - 6)$$

من اجل خلية شمسية مصنوعة من Si تكون  $I_{cc} = 30 A / cm^2$  من اجل إضاءة أعظمية

#### III-2-2 توتر الدارة المفتوحة [3]

هو التوتر الذي من اجله يكون التيار المتولد عن مولد الخلية معدوم و هو التوتر الأعظمي

للخلية الشمسية

$$V_{co} = \frac{kT}{q} \ln \left[ \frac{I_{ph}}{I_s} - 1 \right] \quad (III - 7)$$



### III-2-3 معامل الشكل

الاستطاعة المصروفة في الدارة الخارجية من طرف الخلية الكهروضوئية المضاءة تتعلق بمقاومة الحمولة (المقاومة المربوطة بين طرفي الخلية، هاته الاستطاعة تكون أعظمية ( $P_{max}$ ) من اجل نقطة تشغيل ( $I_{max}, V_{max}$ ) في منحنى تيار-توتر الشكل (III-1)

عامل الشكل يعرف بالعلاقة التالية:

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (III - 8)$$

عامل الشكل هو مؤشر مهم لتحديد جودة الخلية. إنها النسبة بين الطاقة القصوى التي يمكن أن توفرها الخلية والقوة التي شكلها المستطيل  $I_{sc} \times V_{oc}$ .

إنه مؤشر على جودة التقاطع وكذلك المقاومة التسلسلية أو الموازية التي تعمل في الخلية. كلما اقترب عامل الشكل من 1 ، كانت الخلية أفضل. عادة لأخذ معامل الشكل القيم بين 0,6 و 0,85

### III-2-4 مردود التحويل $\eta$

يشير المردود تحويل الاستطاعة ويعرف، بأنها النسبة بين الاستطاعة العظمى المصروفة  $\eta$  المردود واستطاعة الضوء الوارد  $P_{in}$  :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = FF \cdot \frac{V_{co} \cdot I_{cc}}{P_{in}} = FF \cdot \frac{V_{co} \cdot I_{cc}}{E \cdot S} \quad (III - 9)$$

$P_{in}$  : استطاعة الضوء الساقط تساوي استطاعة الشمس. ( $P_{solaire} = 100 \text{ mW/cm}^2$ )  
يمكن تحسين هذا المردود عن طريق زيادة عامل الشكل، تيار الدارة القصيرة، وجهد الدارة المفتوحة.

باعتبار  $S$  سطح الخلية و  $E$  الاستطاعة الواردة من الشمس الى الخلية

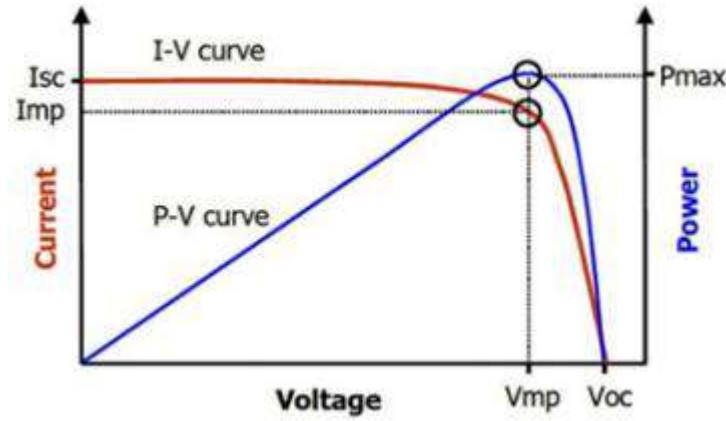
عند درجة حرارة ( $T$ ) وتحت إضاءة ثابتة، يتعلق مردود الخلية بحمولة الدارة الكهربائية حيث انه:

- في الدارة المفتوحة ( $R_c = \infty, I = 0, V = V_{co}$ ).

- في الدارة القصيرة ( $I = I_{cc}, V = 0, R_c = 0$ ) لا يوجد هناك تحويل للطاقة الى الخارج.

بين الحالتين السابقتين توجد قيمة مثلى لمقاومة الحمولة ( $R_c$ )، والتي تكون فيها الاستطاعة المصروفة

من قبل الخلية عظمى ( $P_{max}$ )، كما يوضحه الشكل (III-2)



الشكل (III-2) خصائص (V) أو (P) للخلية الشمسية.

### III-5 الاستجابة الطيفية للخلية الكهروضوئية:

الاستجابة الطيفية (RS) للخلية الشمسية هي النسبة بين تيار الدارة القصيرة المولد من طرف الخلية، واستطاعة الضوء الساقط، بدلالة مختلف الأطوال الموجية المكونة لهذا الإشعاع، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$R(\lambda) = \frac{I_{CC}(\lambda)}{P_{in}(\lambda)} \quad (III - 10)$$

المردود الكمي الخارجي EQE

للخلية هو النسبة بين عدد حاملات الشحنة المولد في الخلية من فوتونات الإشعاع الساقط لكل طول موجة ويرتبط مع الاستجابة الطيفية بالعلاقة:

$$E \quad E(\lambda) = R(\lambda) \frac{hc}{\lambda} \quad (III - 11)$$

المردود الكمي الداخلي

للخلية هو النسبة بين عدد حاملات الشحنة المولد في الخلية من فوتونات الإشعاع الساقط لكل طول موجة ويرتبط مع الاستجابة الطيفية بالعلاقة:

$$I \quad E(\lambda) = \frac{E \quad E(\lambda)}{1 - R(\lambda)} \quad (III - 12)$$

$$R(\lambda) = \left( \frac{n_2(\lambda) - n_1(\lambda)}{n_2(\lambda) + n_1(\lambda)} \right)^2 \quad (III - 13)$$

باعتبار ان المواد المتصلة تملك معامل انكسار  $n_1$  و  $n_2$

**III-2-6 المقاومة التسلسلية  $R_s$ :**

ترجع أساساً إلى مقاومة الحجم لأشباه الموصلات ، والتلامسات المعدنية والتوصيلات البينية ، لنقل الحاملات عبر طبقة الانتشار ، إلى مقاومة التلامس مع الملامسات المعدنية للأقطاب الكهربائية. له تأثير ضئيل على تيار الدائرة القصيرة ويمكن تحديده من منحنى  $I-V$  عن طريق حساب مشتقه حول  $V_{oc}$ . كلما انخفض  $R_s$  ، كانت الخلية أفضل. [4]

**III-2-7 المقاومة الموازية  $R_{sh}$ :**

ترجع إلى الشوائب القريبة من التقاطع وإلى حقيقة أن تقاطع  $p-n$  (أو  $p-i-n$  للسيليكون غير المتبلور) ليس مثالياً. مما يؤدي إلى تسرب تيارات في المفترق. إنه يعمل بطريقة واضحة قليلاً على جهد الدائرة المفتوحة ويمكن تحديده من منحنى  $IV$  عن طريق حساب مشتقه حول  $I_{sc}$ . كلما كانت  $R_{sh}$  أقوى ، كانت الخلية أفضل [4]

**III-3 محاكاة لوح خلايا شمسية (المولد الكهروضوئي):**

من الصعب إعطاء خاصية مولد التيار أو مولد التوتر للمولد الكهروضوئي على المدى الكامل لخاصية التيار- التوتر. وبالتالي ، يعتبر المولد الكهروضوئي مصدر للطاقة الكهربائية حول نقطة  $P_{max}$  حيث تكون الطاقة بحد أقصى.

لذلك من المميزات المهمة مناقشة هذه النقطة للحصول على أقصى قدر من الطاقة وبالتالي تحقيق أقصى استفادة من طاقة الذروة المثبتة. حيث أن بعض منظمات الطاقة الشمسية تقوم بالبحث عن مقاومة الحمل الملائمة بحيث نكون قريبين من هذه النقطة  $P_{max}$  في جميع الأوقات.

من أجل التقرب أكثر من الواقع العملي و لتحقيق هذه المحاكاة ، اخترنا لوحاً شمسياً متوفراً في السوق المحلية و المبين في الشكل ( الشكل أ ) و الذي يحمل المواصفات المبينة في الشكل (ب).



(ب)



(أ)

الشكل (III-3) : (أ) اللوح الشمسي (ب) خصائص اللوح الشمسي

و من خلال الجدول المعطى الشكل (III-3.ب) و بالاطلاع على موقع الشركة المصنعة [5] نجد القيم المبينة في الجدول التالي:

الجدول (III-1) الخصائص الكهربائية المميزة للوح

الرمز المرجعي	JKM530M-72HL4-V
الاستطاعة العظمى $P_{max}$	530
الارتياب النسبي للاستطاعة	$\pm 3\%$
التوتر عند $(P_{pmax})$ $V_{pmax}$	40.56V
التيار عند $(P_{pmax})$ $I_{pmax}$	13.07A
توتر الدارة المفتوحة $V_{co}$	$49.26 \pm 3\%$
تيار الدارة المفتوحة المرجعي $I_{ccr}$	$13.71A \pm 4\%$
معامل درجة الحرارة الخاص بـ $V_{co}$	$-0.28\%/^{\circ}C$
معامل درجة الحرارة الخاص بـ $I_{ccr}$	$0.048\%/^{\circ}C$

### III-4 نمذجة الألواح الكهروضوئية

يجب أن يحدد نموذج الكهروضوئية تأثيرات ظروف التشغيل  $(g, \theta)$  على سلوكها ، أي تقدير تيارها و / أوتوترتها، أو استطاعتها (الشكل 16). [6]



الشكل (III-4): مخططات النمذجة الكهروضوئية العامة.

لهذا الغرض ، توجد في البحوث الاكاديمية ثلاثة نماذج مختلفة لدراسة الخلية الشمسية:

- الأول كلاسيكي ، بناء على مخطط الدائرة المكافئ للخلية الكهروضوئية
- الثاني غالبا ما يستخدم للتنبؤ بالطاقة
- الثالث هو نموذج تجريبي بحت.

### III-5 النموذج يعتمد على الرسم التخطيطي الكهربائي المكافئ للخلية

باعتماد النموذج المكافئ للخلية الكهروضوئية المشروح سابقا يمكن اعتبار اللوح المؤلف من  $N_c$  خلية شمسية مولدا للاستطاعة و يعطي تيارا بالمعادلة التالية:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_P = I_P - I_d - \frac{V_P + N_c R_s I_P}{N_c R_p} \\ I_P - I_0 \left( \exp \left( \frac{V_P + N_c R_s I_P}{n N_c V_T} \right) - 1 \right) - \frac{V_P + N_c R_s I_P}{N_c R_p} \\ V_P = N_c V \quad I_P = I \end{array} \right. \quad (III - 14)$$

حيث  $V_P$  هو توتر الخرج لل PV ، و  $V_T = \frac{K}{q}$  هو التوتر الحراري.

يتناسب التيار الضوئي  $I_P$  مع التشعيع (الاشعاع الوارد) ويعتمد خطيا على درجة حرارة الخلية  $T$

[6] ، [7]. يتم تعريفه بواسطة المعادلة :

$$I_P = \frac{G}{G_0} I_{P_{cc}} (1 + K_i (T - T_0)) \quad (III - 15)$$

يعتمد تيار تشبع الصمام الثنائي  $I_0$  على درجة حرارة الخلية:

$$I_0 = \frac{I_P \text{ cc} \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{3}{n}} \exp\left(\frac{-E_G}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)}{\exp\left(\frac{q P C}{nN_C k T_0}\right) - 1} \quad (III - 16)$$

بعد ذلك، من {III-14}، يتبين أن النموذج الرياضي لـ PV يحتوي على أربعة متغيرات  $G, T, I_P, V_P$  بالإضافة إلى ثلاث مقادير وسيطية غير معروفة:  $R_P, R_S, n$ . النموذج الرياضي هو دالة ضمنية للشكل التالي:

$$I_P = f(G, T, I_P, V_P, n, R_S, R_P) \quad (III - 17)$$

### III-6 تحديد معاملات نموذج الألواح الكهروضوئية

يتضمن النموذج الكهروضوئي المعتمد على الرسم البياني المكافئ للخلية الكهروضوئية ثلاثة معاملات غير معروفة، وهي العامل المثالي للديود والمقاومة التسلسلية والمقاومة المتوازية ( $n$  و  $r_S$  و  $r_P$ ). يوضح تأثير هذه المعلمات على خصائص الخلية الكهروضوئية أهمية الدقة التي يجب تحديد هذه المعلمات بها.

- تعتبر بعض الدراسات أن هذه المعلمات ثابتة مهما كان الإشعاع ودرجة حرارة الخلية، [8]، [9]. في هذه الأعمال، تم تحديد المعلمات الثلاثة بشكل تحليلي: المعادلة التي تميز اللوح PV، (2.5)، مكتوبة في ثلاث نقاط STC:  $(I_{PVCC}, 0)$ ،  $(I_{PVPPM}, V_{PVPPM})$  و  $(0, V_{PVCO})$ ، ثم ميل البيان للخاصية المميزة  $V_{PV} - I_{PV}$ ، في منطقة التشغيل كمولد تيار. بعد ذلك، يتم استخدام طريقة عددية لحل مجموعة المعادلات التي تم الحصول عليها. تنتج المعلمات التي تم الحصول عليها بهذه الطريقة نمذجة اللوح الكهروضوئي، ولكن فقط لظروف التشغيل STC.
- تم تبسيط تحديد المعلمات، الذي يتم تنفيذه فقط ودائماً للشروط STC، عن طريق تبسيط المعادلة {2.5} إلى معادلة ذات وسيطين ( $r_P$  و  $r_S$ ) وتعيين قيمة ثابتة للمعامل  $n$ . وبالتالي، من خلال المعادلة {2.5}، مع  $n$  ثابت وقيمة معروفة، لكل زيادة في قيمة  $r_S$ ، يمكن حساب قيمة  $r_P$ . يتوقف الحساب عندما تقل قيم الوسائط من خطأ الطاقة مقارنةً بقدرة  $P_{PVPPM}$  تقتصر هذه الطريقة على الشروط النظامية (STC)، ولا تأخذ في الاعتبار الاختلاف المحتمل للغاية فيقيمة العامل  $n$  وكذلك قيمة  $R_S$  و  $R_P$ .

يمكن استخدام تقنية رقمية لتحديد المعلمات. إلى جانب نقاط STC ، فإنه يسمح بضبط جميع نقاط المنحنى  $V_{PV}-I_{PV}$ . على الرغم من بساطة هذه الخيرا ، من الممكن حل معادلة الخصائص  $I-V$  . (2.10) ومع ذلك ، فهو معقد لأن حل لايجاد التيار بطريقة التكرار و ذلك بإدراج امقاومة المتسلسلة في النموذج. على الرغم من أنه قد يكون من الممكن العثور على الإجابة عن طريق التكرارات البسيطة ، فقد تم اختيار طريقة نيوتن للتقارب السريع للإجابة [11]. يتم وصف طريقة نيوتن على النحو التالي:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \quad (III - 18)$$

حيث  $f'(x_n)$  هو مشتق الدالة ،  $f'(x_n) = 0$  ، القيمة الحالية ،  $x_n$  ، والقيمة التالية  $x_{n+1}$ . تؤدي إعادة كتابة المعادلة (2.10) إلى الدالة التالية :

$$f(I) = I_{SC} - I - I_0 \left[ e^{q \left( \frac{V_{RS}}{nkT} \right)} - 1 \right] = 0 \quad (III - 19)$$

بإدخال هذا في المعادلة (3.19) نجد المعادلة التكرارية ، ويتم حساب تيار الخرج (I) تكراريا

$$I_{n+1} = I_n - \frac{I_{SC} - I - I_0 \left[ e^{q \left( \frac{V_{RS}}{nkT} \right)} - 1 \right]}{-1 - I_0 \left( \frac{qR_S}{nkT} \right) e^{q \left( \frac{V_{RS}}{nkT} \right)}} \quad (III - 20)$$

ينجز البرنامج المكتوب وفق برمجية MATLAB بإجراء الحساب خمس مرات بشكل متكرر لضمان

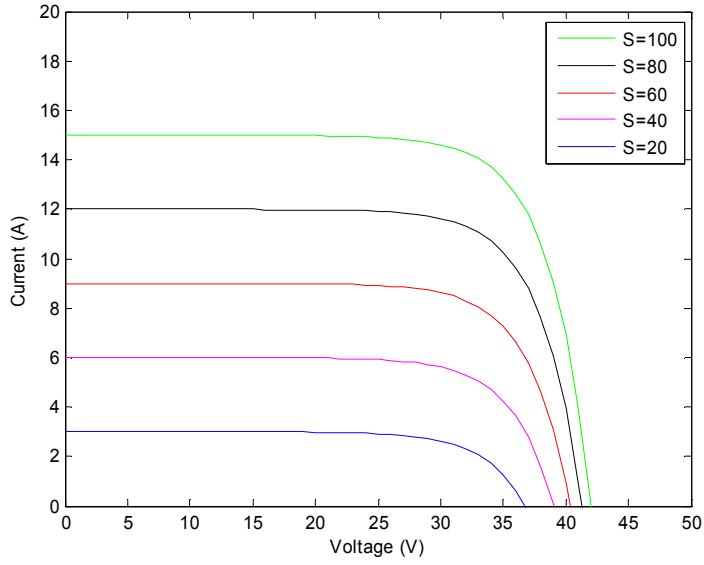
تقارب النتائج. أظهرت نتيجة الاختبار أن قيمة  $I_n$  تتقارب عادةً خلال ثلاث تكرارات [12]

من خلال تغيير استطاعة الاشعاع الوارد من الشمس ( $1000w/m^2$  و  $200w/m^2$ ) بخطوة ( $200w/m^2$ ) و تحت درجة حرارة ثابتة 20 درجة مئوية ،، يتم رسم تأثير ذلك على اشكال تباين تغيرات منحنيات الخصائص و المعطاة على الشكل 10 -

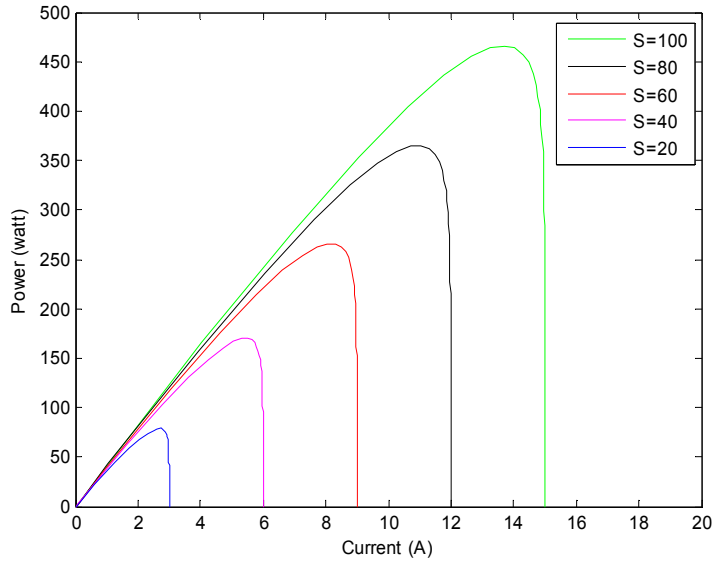
(أ)  $I - V$  ، (ب)  $P - V$  و (ج)  $P - I$  تيار-توتر ، استطاعة-توتر ، و استطاعة-

تيار على الترتيب.

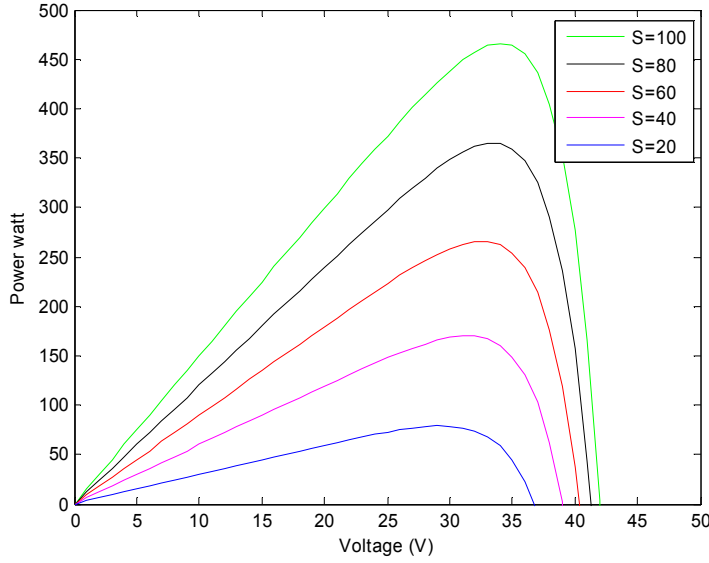
(أ)



(ب)



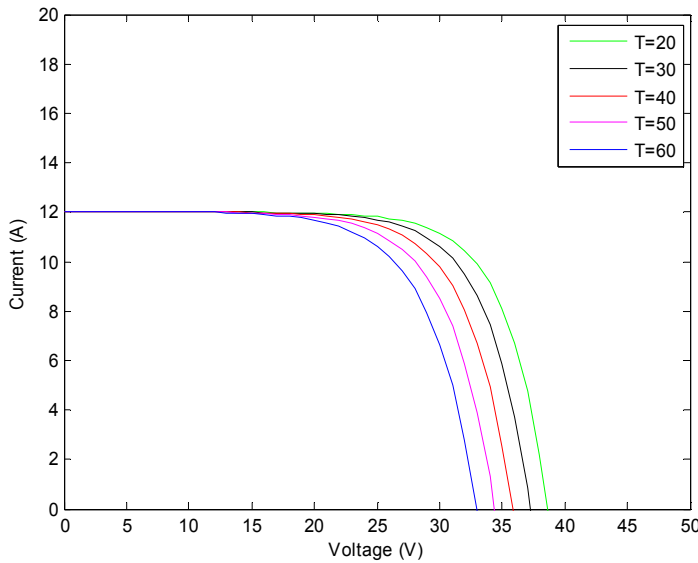




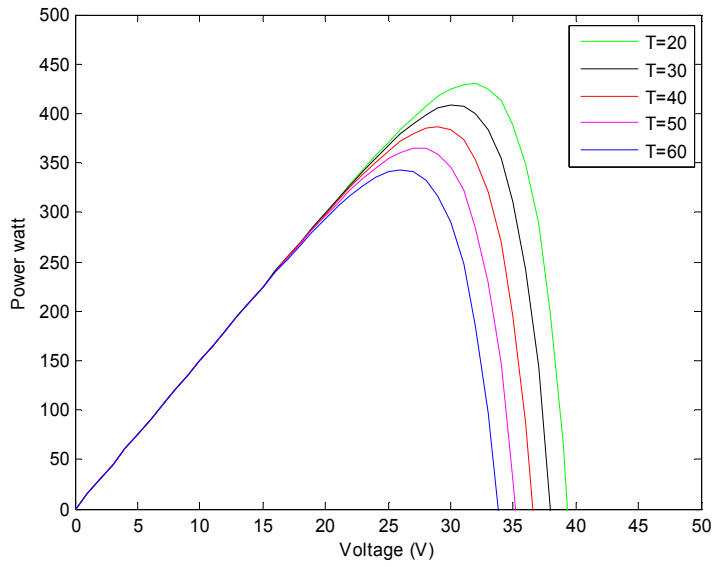
(ج)

الشكل (5) منحنيات الخصائص -  $I - V$  (أ) ،  $P - V$  (ب) و  $P - I$  (ج) عند اشعاعات متعيرة وعند درجة حرارة ثابتة

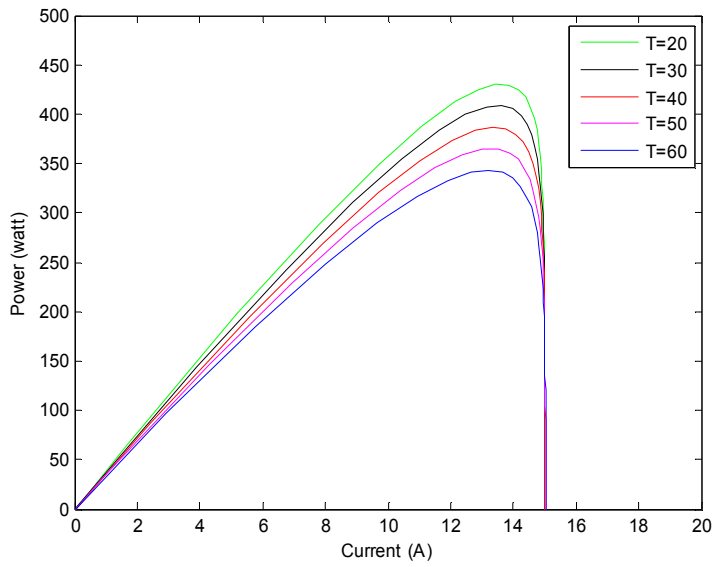
من خلال تغيير درجة الحرارة المحيطة بين (20 درجة مئوية و 60 درجة مئوية) بخطوة 10 درجة مئوية ، مع الإضاءة  $G = S = 1000w/m^2$  ، يتم رسم تأثير ذلك على اشكال تباين تغيرات منحنيات الخصائص و المعطاة على الشكل 11 -  $I - V$  (أ) ،  $P - V$  (ب) و  $P - I$  (ج) تيار-توتر ، استطاعة-توتر ، و استطاعة-تيار على الترتيب



(أ)



(ب)



(ج)

الشكل 6 منحنيات الخصائص -  $I - V$  (أ) ,  $P - V$  (ب) و  $P - I$  (ج) وعند درجات حرارة متغيرة و عند اشعاع ثابت

## مناقشة النتائج

من الشكل 5 (أ) ، يختلف تيار الدائرة القصيرة بما يتناسب مع الإشعاع ، بينما يختلف جهد الدائرة المفتوحة اختلافاً طفيفاً جداً. يمكن ملاحظة أن القدرة القصوى تختلف تقريباً بشكل متناسب مع الإشعاع ، الشكل 5 (ب).

من الشكل 5 (ج) ، يؤكد اختلاف تيار الدائرة القصيرة بما يتناسب مع الإشعاع.

فيزيائياً يمكن تفسير ذلك بان زيادة شدة الإشعاع يزيد من توليد الثنائيات الكترول-فجوة اي يزيد من اثناء الخلية من الالكترونات التي تساهم في انشاء التيار مما يؤدي الى ارتفاع التيار و التوتر الناتجين و بذلك ترتفع الاستطاعة المعطاة من طرف الخلية.

يوضح الشكل 6 (أ) تأثير زيادة درجة الحرارة حيث يظل تيار الدائرة  $I_{sc}$  القصيرة ثابتاً بينما ينخفض توتر عدم التحميل  $V_{oc}$  بشكل كبير عندما تزداد درجة حرارة الخلية. مما يؤدي الى انخفاض الاستطاعة المنتجة من طرف الخلية .

فيزيائياً يبدو التناقض بالنظر الى توتر العصابة الممنوعة  $E_g$  و الذي يقل بزيادة درجة الحرارة و الذي يساعد على زيادة التيار على عكس ما يحدث واقعياً للخلية عند زيادة درجة الحرارة.

بالرجوع الى معطيات المصنع الخاصة باللوح يتبين ان معامل درجة الحرارة السالب و الخاص بالتوتر يجعل زيادة درجة حرارة الخلية يؤدي الى انخفاض التوتر  $V_{oc}$  و بذلك تنخفض الاستطاعة المنتجة من طرف اللوح. و منه نستنتج ان الزيادة في درجة حرارة الخلية لها تأثير سلبي على الطاقة التي تنتجها الخلية.

من خلال النتائج المستخلصة يتبين ان المكان الافضل و الوقت الانسب هو ما يوفر الاشعاع الشديد و درجة حرارة متوسطة

الخاتمة

## الخاتمة :

من خلال هذا العمل يمكن القول ان مساهمتنا توزعت على ثلاثة محاور : حيث تناولنا في الفصل الأول الإشعاع الشمسي الذي يعتبر بمثابة الوقود لمولد الطاقة الكهروضوئية و كيف ينتشر في الغلاف الجوي و كيف يسقط على الأرض و ما هي المقادير الفيزيائية التي تتحكم في ذلك والتي يمكن من خلالها معرفة الإشعاع الشمسي الوارد الى سطح الخلية الشمسية

الفصل الثاني تعرضنا للتفاعل المتبادل بين الفوتون (الإشعاع الضوئي) والمادة الأساسية التي تشكل الخلية الشمسية و هو مادة نصف الناقل حيث يؤدي الفوتون المخترق للخلية الى إنشاء الثنائيات إلكترون - فجوة و بذلك تتوفر الخلية على الكترونات مستعدة للانتقال عبر دارة خارجية مما يجعل الخلية تقوم بدور مولد للتيار و التوتر .

و في الفصل الثالث أجرينا محاكاة للوح شمسي متوفر في السوق المحلية حين ناقشنا تأثير معاملات و خصائص اللوح الشمسي بتغير ظروف الأرصاد الجوية و بذلك يمكن القول :

أولاً: ان زيادة التشعيع الشمسي المسلط على اللوح الشمسي يؤدي الى زيادة تيار الدائرة القصيرة ISC بشكل واضح بينما توتر الدائرة المفتوحة Voc (بدون حمل) يختلف قليلاً جداً. في حين تزداد القيمة العظمى لمنحنيات الاستطاعة و منه زيادة الإشعاع له اثر ايجابي على خصائص اللوح الشمسي ثانياً : أنه عندما تزداد درجة الحرارة مع التشعيع الثابت ، ينخفض توتر (القوة المحركة للمولد) الدائرة المفتوحة V بشكل حاد ويزداد تيار الدائرة القصيرة ISC بشكل طفيف. في حين تتخفض القيمة العظمى لمنحنيات الاستطاعة و منه زيادة درجة حرارة له اثر سلبي على خصائص اللوح الشمسي.

و من خلال دراسة تأثير درجة حرارة الجو و الإشعاع الشمسي يمكن مناقشة الإجابة عن السؤال المطروح و هو :

ما هو المكان الأنسب لتثبيت اللوح الشمسين من حيث الإشعاع الشمسي و درجة حرارة الجو ؟

ان المكان الافضل و الوقت الانسب هو ما يوفر الاشعاع الشديد و درجة حرارة متوسطة

و كآفاق بحث يمكن دراسة تأثير الظل الجزئي و الكلي على أداء الخلية كما يمكن دراسة تأثير عوامل أخرى كالرطوبة و الغبار و الشبخوخة على اللوح الشمسي

## قائمة المراجع

## المراجع باللغة العربية

- [1] محمد يحيى الخطيب، مذكرة ماجستير: دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة والتشكيل المعماري للمباني السكنية في قطاع غزة 2015 ص 22-23.
- [2] الطاقة الشمسية (ج1)، مجلة العلوم والتقنية، العدد الرابع والثلاثون، سبتمبر 1995.
- [3] محمد أحمد سيد خليل، الطاقة الشمسية واستخداماتها، دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع القاهرة.
- [5] مريم ازهر علي غالب، تقييم كفاءة خلية شمسية من مادة السيليكون ذات أخاديد مختلفة الشكل باستخدام برنامج ، زيماكس
- [8] محمد البار سوداني ، تحقيق عملي لمركز شمسي اسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي ، رسالة دكتوراه، جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2017-2018 .
- [9] مذكرة دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بطاقة شمسية -علي تاجي حمودي .جامعة تشرين كلية الهندسة الكهربائية قسم القوى الميكانيكية 2008-2009.
- [12] مذكرة العلاقة المتداخلة بين الإشعاع الشمسي و الغيوم - مصطفى احمد محمد نجيب - جامعة الموصل 2008م.
- [13] الطاقة الشمسية و استخداماتها-محمد أحمد سيد خليل -دار الكتب العلمية لنشر و التوزيع القاهرة .
- [14] كتاب هندسة الأغذية بالطاقة الشمسية - أسعد رحمان سعيد الحلفي - مكتبة الزهراء البصرة 2010م .
- [16] حقيبة الخلايا الشمسية- المنظمة العربية للتربية و الثقافة و العلوم - تونس 2000م.
- [17] سوداني محمد البار - دراسة نظرية لمجمع شمسي أسطواني مقعر ذي غطاء زجاجي مذكرة ماجستير. جامعة ورقلة 2009 .
- [31] أمل جاسم ، الخلايا الشمسية : الحرية للإلكترونيات لنظام هندسي، الهيئة العامة للبيئة ، العدد 146، (2013).
- [33] كتاب أشباه الموصلات \_ م مؤيد فايز القواسمة \_ مكتب المجتمع العربي للنشر و التوزيع - عمان 2006م.
- [34] سماحي سهيلة، مذكرة ماستر أكاديمي فعالية أداء الخلية الشمسية كهروضوئية في ورقلة و تأثير الإشعاع الشمس و العوامل المؤثرة عليها 2015 - 2016 ص 19.
- [35] عاهد علي الخطيب، مبادئ تحويل الطاقة، دار شروق للنشر و التوزيع، الطبعة الأولى،(1989).
- [36] نجيب صالح نصر، علي مصباح أشطبي، فوزي محمد عون، تجارب معملية في مبادئ الهندسة الكهربائية و الإلكترونية، دار الكتب العلمية للنشر و التوزيع (2002).
- [39] عبد الباسط علي صالح كرمان توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية "أنظمة الطاقة الفولتضوئية"، مركز دراسات الوحدة العربية ،( 2011).

---

[40] محمد فيصل السعيد ، نحو إستخدام أمثل للطاقة الشمسية في اليمن ، مؤسسة قرار الإعلام و التنمية المستدامة ، (2014)

[41] علي ناجي حمودي ،دراسة و تنفيذ و تحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية ، أطروحة ماجستير ،جامعة تشرين،(2009).

[48] أب محمد عمارة ،الطاقة في القرن الواحد و عشرون (الطبعة الأولى) القاهرة - جمهورية مصرية العربية المكتبة الأكاديمية ،صفحة 27-28-29.بتصرف

### المراجع باللغة الأجنبية

[4]SAYIGHA. A, Characteristics Of Solar Radiation, Solar Energy Conversion, Pergamon Press, Ontario, 1979.

[6] J A Duffie, w a Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes,edited by JohnWiley & Sons ,2013.

[7] Rahmani Djalloul, Analyse d'un système de concentration solaire Pour La Production d'hydrogène (cas de l'Algerie), Mémoire Magister , Université Hassiba Benbouali-Chlef,2011-2012.

[10] Soteris Kalogiroe Solar Energy Engineerin and system,University of TechnologyLimassol, Cyprus , british library ,2009.

[11] A.A sfeir G. Guarracino,ingénieur des systèmes solaires , application al'habitat,technique et documentatation ,edition paris ,1981.

[15] HELITHERMIQUO le gisement solaire méthodes et calculs – pierre Henri COMMUNAY

[18] N. Dong, Modélisation du potentiel solaire par temps claire à Dakar , Mémoire de DEA,ESP, UCAD ,pp.55,2003.

[19] F.Kasten , A.T. Young, Revised optical air mass tables andapproximation formula, Applied Optics, Vol.28, pp. 4735-4738, 1989.

[20] S. Issaadi, Càmmmande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones, Mémoire de magister, Laboratoire LDCCP, ENP, 2006.

[21] R.A. Messenger, J.Ventre, Photovoltaic systems engineering,



- 
- [22] O. Gergaud, Modélisation énergétique et optimisation économique d'un système de production éolien et photovoltaïque couplé au réseau et associé à un accumulateur, Thèse de doctorat de l'école normale supérieure de Cachan, 2002.
- [23] L. Mabilie, Vers la compréhension des mécanismes de dégradation et de vieillissement des assemblages photovoltaïques pour des applications sous haute concentration, Thèse de doctorat, Université Toulouse III – Paul Sabatier, 2009.
- [28] José Miguel Navarro « Cellules Photovoltaïques Organiques Transparentes Dans Le Visible ». Thèse de doctorat. Université Toulouse III – Paul Sabatier, 2009
- [29] L. de Schoulepnikoff et Gymnase Auguste Piccard « Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années? ». Travail de maturité Alexandra Catana, 3M7, 2009. Paris Sud – Paris XI, 2014.
- [37] Antonio Luque, Steven Hegedus, Handbooks of photovoltaic Science and Engineering, Second edition, (2011).
- [38] Derradji Ilheim, Optimisation des performances du système photovoltaïques GaAlAs/GaAs à Gap graduel, Thèse de magister, université Oum el Bouaghi, (2002).
- [42] Naima Touafek, Contribution à l'étude d'une cellule solaire en couches mince à base de  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$ , thèse de doctorat, université Constantine, (2015).
- [49] Corinne Alonso. "Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie". Thèse de HDR; Université Paul Sabatier – Toulouse III, 2003
- [50] Kwan Chi Kao. "Dielectric phenomena in solids, With Emphasis on Physical Concepts of Electronic Processes". Elsevier, 2004
- [51] Dang Minh Trung « Elaboration de cellules solaires photovoltaïques à base de polymères conjugués, études des systèmes reticulables ». Thèse de doctorat, Université Bordeaux1, 2009
- [52] Alonso Corinne « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie ». Mémoire d'habilitation à diriger les recherches, Université Paul Sabatier Toulouse 2003
- [53] J.C. Bernède. Organic photovoltaic cells: history, principle and techniques. J. Chil. Chem. Soc., 53, n°3, 2008.
- [54] F. Kasten, A.T. Young, Revised optical air mass tables and approximation formula, Applied Optics, Vol. 28, pp. 4735–4738, 1989.

- 
- [55] S. Issaadi, Commande d'une poursuite du point de puissance maximum (MPPT) par les Réseaux de Neurones, Mémoire de magister, Laboratoire LDCCP, ENP, 2006.
- [56] N. Dong, Modélisation du potentiel solaire par temps claire à Dakar, Mémoire de DEA, ESP, UCAD, pp. 55, 2003.

### مواقع الإنترنت

- [24] Measuring Light "[www.mediacollege.com](http://www.mediacollege.com), Retrieved 7-4-2019. Edited
- [25] Ross Cdsu, "An introduction to lighting for photojournalists" [www.ndsu.edu](http://www.ndsu.edu), Retrieved 7-4-2019. Edited
- [26] Ethan Schwartz (30-4-2018), "How to Calculate Light Intensity " [sciencing .com](http://sciencing.com), Retrieved 7-4-2019 Edited
- [27] Philip Gibb (1997), "How is the speed of light measured?" [math.ucr.edu](http://math.ucr.edu), Retrieved 7-4-2019 Edited
- [30] Shockley, William; Queisser, Hans j (1961). "Detailed Balance Limit of p-n junctionolar Cells"(PDF). *Journal of Applied Physics*. 32 (3):510
- [32] <http://tpeenergiephotovoltaique.e-monsite.com/pages/remerciements.html>.
- [45] Gevorkian, peter (2007) Sustainable energy systems engineering :the complete green building design resource .McGraw 978-0-07-Hill professional. ISBN147359-0
- [46] the output watts of solar panels [sciencing .com](http://sciencing.com), Retrieved Edited 20-6-2019.
- [47] Solar cell ELECTRONICS "[www.britannica.com](http://www.britannica.com), Retrieved," Edited 15-5-2018 .

- [1] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, and Yi-Jie Su —Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK II Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2008 WCECS 2008, October 22 - 24, 2008, San Francisco, USA
- [2] H.-L. Tsai et al., "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MATLAB/SIMULINK," in World Congress on Engineering and Computer Science, 2008, pp. 0–5.
- [3] Y.PANKOW, Etude de l'intégration de la production décentralisé dans un réseau basse tension. Application au générateur photovoltaïque, thèse doctorat de l'école national supérieur d'Arts et Métiers, 2004
- [4] Thomas Mambrini. Caractérisation de panneaux solaires photovoltaïques en conditions réelles d'implantation et en fonction des différentes technologies. Météorologie. Université Paris Sud - Paris XI, 2014. Français.THÈSE DE DOCTORAT soutenue le 16/12/2014
- [5] <https://www.vicoexport.com/wp-content/uploads/2020/05/Jinko-Solar-Tiger-Pro-TR-Monofacial-JKM510-530M-7TL4-V-D4-vico-export-solar-energy.pdf>
- [6] **Issam HOUSSAMO** "Contribution à l'étude théorique, à la modélisation et à la mise en oeuvre d'un système multisource appartenant à un micro-réseau électrique. Considérations sur la qualité de l'énergie" **Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur de l'UTC UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE COMPIEGNE**
- [7] M.G. Villalva, J.R. Gazoli, and E.R. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays", *IEEE Trans on Power Electronics*, vol. 24, no. 5, pp. 1198-1208, May 2009.
- [8] G. Walker, "Evaluating MPPT converter topologies using a Matlab PV model", *Journal of Electrical, Electronics & Engineering*, Australia, vol. 21, no. 4, pp. 49-55, 2001
- [9] D. Sera, R. Teodorescu, and P. Rodriguez, "PV panel model based on datasheet values", in *Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron. (ISIE)*, pp. 2392–2396, 2007.
- [10] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor, "Identification of Photovoltaic Source Models", *IEEE Transactions On Energy Conversion*, vol. 26, no. 3, pp. 883-889, September 2011.
- [11] K. Ishaque, Z. Salam, H. Taheri, and A. Shamsudin, "A critical evaluation of EA computational methods for Photovoltaic cell parameter extraction based on two diode model", *Solar Energy*, vol. 85, pp. 1768-1779, 2011.
- [12] Walker, Geoff R. "Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model" Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC '00, Brisbane, 2000
- [13] Akihiro Oi "DESIGN AND SIMULATION OF PHOTOVOLTAIC WATER PUMPING SYSTEM " A Thesis Presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Electrical Engineering by September 2005

## الخلاصة

تطرقنا في هذا العمل نظريا الى الإشعاع الشمسي الوارد الى سطح الخلية الشمسية و ذلك من خلال معرفة الإشعاع الشمسي الذي ينتشر في الغلاف الجوي و كيف يسقط على الأرض و ما هي المقادير الفيزيائية التي تتحكم فيه. تعرضنا الى التبادل الذي يحدث بين الاشعاع الضوئي والخلية المكونة اساسا من وصلة PN لمادة نصف ناقل و التي تنتج تيارا كهربائيا ضوئيا  $I_{ph}$  صادرا عن الخلية. اجرينا محاكاة للوح خلايا شمسية متوفر في السوق المحلية وناقشنا تأثير كل من شدة الاشعاع و درجة الحرارة على اللوح و بذلك استنتجنا تأثيرا ايجابيا لزيادة الاشعاع و سلبيا لدرجة الحرارة و لذلك فالمكان الافضل و الفصل الانسب هو الذي يتميز بشدة اشعاع اكبر و درجة حرارة منخفضة.

## Résumé

Dans ce travail, nous avons traité théoriquement du rayonnementsolaire entrant à la surface de la cellule solaire, en connaissant le rayonnement solaire qui se propagedans l'atmosphère et comment il tombe sur le sol et quellessont les grandeurs physiques qui le contrôlent . Nous avons exposés à l'échange qui a lieu entre le rayonnement lumineux et la cellule, qui est principalement composé de la jonction PN d'un matériau semi-conducteur, qui produit un courant électro-optique,  $I_{ph}$ , émis par la cellule. Nous avons simulé un panneau solaire disponible dans le marché local et discuté de l'effet de l'intensité du rayonnement et de la température sur le panneau, et ainsi nous avonsconclu un effetpositif de l'augmentation du rayonnement et négatif pour la température, donc le meilleuendroit et la saison la plus appropriéeest la celui qui se caractérise par une plus grandeintensité de rayonnement et unetempérature plus basse .

## Abstract

In this work, we have theoretically dealt with the solar radiation entering the surface of the solar cell, knowing the solar radiation that propagates in the atmosphere and how it falls on the ground and what are the physical magnitudes that control it. We have exposed to the exchange that takes place between light radiation and the cell, which is mainly composed of the PN junction of a semiconductor material, which produces an electro-optical current,  $I_{ph}$ , emitted by the cell. We simulated a solar panel available in the local market and discussed the effect of the radiation intensity and temperature on the panel, and thus we concluded a positive effect of increasing radiation and negative for temperature. , therefore the best place and the most suitable season is the one characterized by a greater intensity of radiation and a lower temperature.