

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة قاصدي مرباح ورقلة

كلية الرياضيات وعلوم المادة

قسم الفيزياء



مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي

التخصص : فيزياء طاغوية وطاغات متجدة

من إءاء الطالبين :-رقادي زهرة – محجر رجاء

بعنوان

## تأثير التظليل على الألواح الشمسية الكهروضوئية

نوقشت وأجيزت يوم: 2020/09/30

رئيسا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر (أ)	محسن حسين
مناقشا	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ محاضر (أ)	معريف ياسين
مشرف	جامعة قاصدي مرباح ورقلة	أستاذ التعليم العالي	بوغالي سليمان

السنة الجامعية: 2020/2019

# الإهداء

الحمد لله الذي لا إله سواه الموفق لإتمام صالح الأعمال

إلى من كتب اسمه على عرش الرب العظيم

إلى من أطلب شفاعة والحمى تحب رايته إلى طه الرسول خاتم الأنبياء والمرسلين...

إلى من زرع في نفسي حب العلم، إلى من كان رضاها سر نجاحي أمي الغالية التي مهما

قلدت فيها لن أوفيقها حقها، إلى والدي الحبيب حفظه الله تعالى أسأل الله أن يديمهما لي

إلى كل أفراد عائلتي : إخوتي و أخواتي وأخوالي وخالاتي وبناتي خالتي جعلنا الله سنداً واحداً دوماً

إلى كل أصدقائي الذين عرفتهم والذين كانوا عوناً لي وسنداً

إلى صديقتي ورفيقتي دربي بخدا خديجة

إلى كل الأساتذة الذين رافقوني طيلة مشواري الدراسي، إلى كل طلبة قسم الفيزياء،

وكل طلبة العلم الذين هم في خدمة الوطن بالعلم النافع.

إلى كل من يذكرهم قلبي ولم يدونهم قلبي...

إلى كل هؤلاء أهدي هذا العمل المتواضع.

زهرة

## الإهداء

إلى من كلفه الله بالهبة والوقار؛ إلى من علمني العطاء بدون انتظار؛ إلى من أحمل اسمه بكل افتخار؛ أرجو من الله أن يمد في عمرك لتري ثماراً قد حان قطافها بعد طول انتظار وستبقى كلماتك نجوم أهدي بها اليوم وفي الغد وإلى...و الذي العزيز.

إلى ملاكي في الحياة ؛ إلى معنى الحب وإلى معنى الخنان والتفاني ؛ إلى بسمه الحياة وسر الوجود إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي ، إلى أغلى الحبايب... أمي الحبيبة.

إلى القلوب الطاهرة الرقيقة والنفوس البرينة إلى رياحين حياتي إخوتي... أسماء و فاطمة الزهراء وصفاء ورحاب و محبوبة الكل نسبية

إلى من أرى التفاؤل بعينه والسعادة في ضمته، إلى شعلة الذكاء والنور إلى الوجه المفعم بالبراءة ولمحبتك لأزهرت أيامي وتفتحت براعم الغد أخي المدلل...مهدي مدلان

إلى شموع البيت ونوره، إلى من لا نعرفه طعم الحياة إلا بهما ، إلى زهور البيت بنات أختي...الألاء و أنفال

إلى الأخت التي لم تلدها أمي، إلى من تحلت بالإخاء وتميزت بالوفاء والعطاء إلى ينبوع الصدق الصافي إلى من معها سعدت ، صديقتي الغالية...أم كلثوم

إلى كل الصديقات العزيزات، إلى كل من زميلاتي وزملائي في درج العلم

إلى جميع من وقف بجواري وساعدوني بكل ما يملكون وفي أصدمة كثيرة.

إليكم جميعاً أهدي لكم هذا العمل المتواضع

## رجاء



# شكر و عرفان

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

{رب أوزعني أن أشكر نعمتك التي أنعمت علي وعلى والدي وأن أعمل صالحا ترضاه و أدخلني برحمتك في عبادك الصالحين }

الحمد لله والشكر له على فضله، وعلى توفيقه لنا في إنجاز هذا العمل المتواضع.

نتقدم بعظيم الشكر والتقدير إلى الأستاذ المشرف الدكتور "بوغالي سليمان" على كل ما قدمه لنا من نصائح وتوجيهات، حرصا منه على إنجاز هذا البحث وتقديمه بالصورة المطلوبة فجزاه الله خيرا وأدامه ذخرا للأمة.

كما نتوجه بالشكر الجزيل إلى الأستاذ المساعد "ديدة مصطفى" الذي وجهنا بأفكاره القيمة وفكره الثاقب ومساعدته لنا في إنجاز هذا العمل حفظه الله تعالى ورعاه.

ويطيب لنا أن نتقدم بخالص الشكر والتقدير إلى أساتذتنا "أعضاء لجنة المناقشة" لما بذلوه من وقتهم الثمين ولما سيضيفونه إلى هذا البحث من ثراء علمهم، وأصالة فكرهم، وتزويدنا بالملاحظات القيمة التي سيكون لها بإذن الله الأثر المفيد في وصول هذا البحث إلى غاية طيبة.

كما لا يفوتنا أن نخص بالشكر و الإمتنان لأساتذة قسم الفيزياء لشعبة علوم المادة بجامعة قاصدي مرباح.

فلا يغيب عن خاطرنا إلا أن نتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من وقف بجانبنا وشجعنا ودعا لنا بظهر الغيب الأهل والأصدقاء.

## الفهرس

الصفحة	المحتويات
	الإهداء.
	التشكرات.
	قائمة المحتويات.
	قائمة الأشكال.
	قائمة الجداول.
	قائمة الرموز.
<b>1</b>	مقدمة عامة.
<b>الفصل الأول: الطاقة الشمسية</b>	
<b>4</b>	مقدمة.
<b>4</b>	1-I مصدرها.
<b>5</b>	2-I آلية تحويل الطاقة الشمسية.
<b>6</b>	3-I استخداماتها
<b>8</b>	4-I الإشعاع الشمسي.
<b>8</b>	1-4-I أنواع الإشعاع الشمسي.
<b>9</b>	5-I العوامل المؤثرة على شدة الإشعاع الشمسي.
<b>10</b>	1-5-I الغلاف الجوي.
<b>11</b>	2-5-I الزوايا الشمسية.
<b>13</b>	6-I الخاتمة.
<b>الفصل الثاني: الخلايا الكهروضوئية</b>	
<b>15</b>	مقدمة.
<b>15</b>	1-II أشباه الموصلات.
<b>16</b>	2-II تصنيف أشباه الموصلات.
<b>16</b>	1-2-II مواد شبه موصلة نقية.
<b>16</b>	2-2-II مواد شبه موصلة غير نقية.

17	3-II نبذة تاريخية عن الخلايا الكهروضوئية.
19	4-II تعريف الخلايا الكهروضوئية.
19	5-II أنواع الخلايا الكهروضوئية.
19	1-5-II الخلايا السيليكونية .
20	2-5-II الخلايا الرقيقة.
21	3-5-II الخلايا العضوية.
21	6-II بنية الخلايا الكهروضوئية.
22	7-II تطبيقات الخلايا الكهروضوئية.
23	8-II مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية.
24	9-II الدارة الكهربائية المكافئة.
25	10-II خصائص منحنى الجهد و التيار (I-V).
25	11-II الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية $P_{max}$ .
26	12-II كفاءة الخلية الكهروضوئية $\eta$ .
26	13-II معامل الشكل FF.
27	14-II تجميع الخلايا.
27	1-14-II تجميع الخلايا على التوالي.
28	2-14-II تجميع الخلايا على التوازي.
29	3-14-II تجميع الخلايا على التوالي و على التوازي.
30	15-II تأثير العوامل المناخية على الخلية الكهروضوئية.
30	1-15-II تأثير شدة الإشعاع الشمسي على خرج الخلية الكهروضوئية.
31	2-15-II تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على جهد و تيار الخلايا الكهروضوئية.
32	16-II الخاتمة.
<b>الفصل الثالث: الظل وتأثيره على الخلايا الكهروضوئية</b>	
34	مقدمة.
34	1-III تعريف تظليل الخلية.

34	III-2 أنواع الظل.
35	III-3 الدراسات السابقة.
64	III-4 مقارنة الدراسات السابقة.
66	III-5 تأثير الظل على خصائص (I-V) للخلايا الكهروضوئية.
67	III-6 التظليل على التوالي أو التوازي.
72	III-7 تركيب الخلايا أفقيا أو رأسيا.
73	III-8 تأثير الظل على أداء الخلايا الكهروضوئية.
74	III-9 لتقليل تأثيرات التظليل.
74	III-10 الخاتمة.
76	الخاتمة العامة.
78	المراجع و المصادر.
	الملخص.

## قائمة الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
5	عناصر الشمس.	1-I
6	مخطط يوضح استخدامات الطاقة.	2-I
9	أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض.	3-I
11	تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي.	4-I
15	الترتيب البلوري لمادتي السيليكون والجرمانيوم.	1-II
17	تطعيم ذرات السيليكون بذرات الفوسفور.	2-II
17	ذرة البورون وعملية التطعيم.	3-II
20	أشكال الخلايا الرقيقة.	4-II
22	المكونات البسيطة للخلية الكهروضوئية.	5-II
22	مخطط تطبيقات الخلايا الكهروضوئية.	6-II
24	مبدأ عمل الخلايا الكهروضوئية.	7-II
24	مخطط كهربائي مكافئ لخلية كهروضوئية.	8-II
25	منحنى خصائص الجهد والتيار لخلية كهروضوئية.	9-II
26	تعريف معامل الشكل.	10-II
27	تجميع الخلايا على التوالي.	11-II
28	خصائص (P-V) لخلايا PV مربوطة على التوالي.	12-II
28	خصائص (I-V) لخلايا PV مربوطة على التوالي.	13-II
28	تجميع الخلايا على التوازي.	14-II
29	خصائص (P-V) لموديولات مربوطة على التوازي.	15-II
29	خصائص (I-V) لموديولات مربوطة على التوازي.	16-II
29	خلايا كهروضوئية مربوطة على التوالي والتوازي.	17-II
30	منحنى العلاقة بين (P-V) لحالي التوالي والتوازي لموديولات.	18-II



30	منحنى العلاقة بين (I-V) لحالي التوالي والتوازي للموديولات.	19-II
31	تأثير شدة الإشعاع الشمسي على خصائص (P-V).	20-II
31	تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على خصائص (I-V).	21-II
35	تأثير التظليل بنسب مختلفة على الخصائص (I-V) و (P-V) للخلية الكهروضوئية.	1-III
37	في حالة إضاءة كاملة (1-1-1-1).	2-III
38	في حالة التظليل الجزئي (0.5-1-1-1).	3-III
38	في حالة تظليل (1-0.5-1-1).	4-III
39	تغير منحنيات I(V) لخلايا مظلمة و مشعة، (A) خلية واحدة مظلمة ومشعة، 11 (B) خلية مشعة و واحدة مظلمة	5-III
41	خصائص I-V و P-V لوحات كهروضوئية مظلمة تدريجياً.	6-III
42	طريقة تظليل لخلية واحدة: (a) من اليمين إلى اليسار، (b) من أسفل إلى أعلى.	7-III
43	طرق تظليل لوحدة كهروضوئية: (a) طريقة التظليل العمودي، (b) طريقة التظليل الأفقي، (c) عملية التظليل القطري.	8-III
44	خصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات بطريقة التظليل أحادي الخلية من اليمين إلى اليسار.	9-III
44	الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لطريقة التظليل أحادي الخلية من الأسفل إلى الأعلى.	10-III
45	خصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات أحادية البلورة لطريقة التظليل أحادي الخلية من اليمين إلى اليسار.	11-III
45	الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات أحادية البلورة لطريقة التظليل أحادي الخلية من الأسفل إلى الأعلى.	12-III
46	الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لطريقة التظليل.	13-III
46	الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لطريقة التظليل الأفقي.	14-III
47	الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لعملية التظليل قطرياً.	15-III

47	الخصائص ( I-V ) و ( P-V ) المسجلة للوحدات أحادية البلورية لطريقة التظليل عمودياً.	16-III
48	الخصائص ( I-V ) و ( P-V ) المسجلة للوحدات أحادية البلورة التظليل أفقيًا.	17-III
48	الخصائص ( I-V ) و ( P-V ) .المسجلة للوحدات أحادية البلورة لعملية التظليل.	18-III
51	تغير تيار الدارة القصر بدلالة معدل التظليل.	19-III
52	تغير جهد الدارة المفتوحة بدلالة معدل تظليل.	20-III
52	تغير معامل الشكل بدلالة معدل تظليل.	21-III
53	تغير كفاءة الخلية بدلالة معدل تظليل.	22-III
53	تغير الاستطاعة العظمى بدلالة معدل التظليل.	23-III
54	الخصائص الكهربائية ل I(V).	24-III
55	الخصائص الكهربائية ل P(V).	25-III
56	حالات تظليل على الخلايا الكهروضوئية.	26-III
57	طاقة الخلايا الكهروضوئية بدلالة أشعة الشمس لمعدلات تظليل مختلفة.	27-III
58	حالات التظليل الجزئي.	28-III
59	تغير الاستطاعة بدلالة أشعة الشمس لمعدلات تظليل.	29-III
60	التظليل بأوراق الشجر و التراب.	30-III
60	تغير الاستطاعة في حالة التظليل بتراب وأوراق الشجر.	31-III
62	كيفية التظليل.	32-III
63	تأثير التظليل على الخصائص الكهربائية (P-V) و (I-V) للوح الشمسي .	33-III
66	يمثل خلية كهروضوئية بها بقعة ساخنة.	34-III
67	منحنى العلاقة بين الجهد والتيار في حالي وجود وعدم وجود الظل.	35-III
68	نموذج الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية.	36-III
70	خليتين أحدهما مظلة والثانية معرضة للإشعاع الشمسي الكامل.	37-III
73	خلايا مركبة أفقيا أو رأسيا.	38-III

## قائمة الجداول

الصفحة	عنوان الجدول	رقم الجدول
18	التطور التاريخي لإنتاج الخلايا الكهروضوئية.	1-II
20	أنواع الخلايا السيليكونية.	2-II
36	تأثير التظليل بنسب مختلفة على نقطة القدرة القصوى وقدرة الطاقة.	1-III
50	قيم $(V_{CO})$ ، $(I_{CC})$ ، $(MPP)$ ، $(FF)$ ، $(\eta)$ بدلالة معدل التظليل للخلية.	2-III
55	حالات التظليل بمعدلات مختلفة.	3-III
58	حالات تظليل على خلية واحدة.	4-III
64	ملخص أهم النتائج الموصل إليها من الدراسات السابقة.	5-III

## قائمة الرموز

الوحدة في النظام الدولي	المقدار الفيزيائي	الرمز
°	زاوية السميت الشمسي	<b>a</b>
W/m <sup>2</sup>	شدة الإشعاع	<b>E</b>
%	معامل الشكل	<b>FF</b>
W/m <sup>2</sup>	شدة الإشعاع الشمسي الكلي	<b>G</b>
°	زاوية الارتفاع الشمسي	<b>h</b>
A	تيار الدارة القصر	<b>I<sub>CC</sub></b>
A	تيار الصمام الثنائي	<b>I<sub>D</sub></b>
A	تيار المتولد من الخلايا المشعة بالكامل	<b>I<sub>Li</sub></b>
A	تيار المتولد من الخلايا المظلمة	<b>L<sub>LS</sub></b>
W	القدرة الكهربائية القصوى	<b>P<sub>max</sub></b>
Ω	المقاومة	<b>R</b>
m <sup>2</sup>	سطح الخلية	<b>S</b>
K	درجة الحرارة	<b>T</b>
h	التوقيت الشمسي الحقيقي	<b>T<sub>SV</sub></b>
V	جهد الخلية	<b>V</b>
°	الزاوية الساعية الشمسية	<b>ω</b>
%	كفاءة الخلية	<b>η</b>
/	معامل أنغيشتروم	<b>β<sub>A</sub></b>
°	زاوية الانحراف الشمسي	<b>δ</b>

المقدمة العامة

## مقدمة عامة

يشهد العالم منذ أواخر القرن العشرين و بداية القرن الحادي والعشرين، تفاقم التحديات البيئية العالمية، من أبرزها ظواهر الاحتباس الحراري والتغير المناخي، وفقدان التنوع الإيكولوجي وندرة بعض الموارد الطبيعية، والتلوث البيئي وغيرها.

على الرغم من أهمية الطاقة الأحفورية خاصة في الدول الصناعية الكبرى التي ساعدتها على التنمية والإبداع ورفاهية الشعوب، إلا أن ادراك الإنسان لمخاطر التلوث البيئي الناجم عنها من جهة، وشبح نضوب و نفاذها من جهة ثانية، ناهيك عن ارتفاع اسعار مصادرها، هذا ما وجب علينا البحث عن مصادر أخرى للطاقة، وتشمل هذه المصادر الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، طاقة المحيط وطاقة المد والجزر وغيرها من أشكال الطاقة المتجددة التي تعتبر حلا عمليا ونظيفا وأكثر ديمومة وغير ملوث للبيئة، ومتاح في جميع أنحاء المعمورة، كما أنها تحقق التنمية المستدامة (التنمية التي تلبي احتياجات الحاضرين دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتهم).

أولت الجزائر اهتمام كبيرا للاستثمار في هذا المجال، بحيث اتجهت إلى استغلال هذه الطاقات المتجددة قصد تشجيع الاستثمارات خارج قطاع المحروقات، وتهدف من خلالها إلى إحداث التماسك الاقتصادي والاجتماعي، كما أنها تمتلك أهم حقل للطاقة الشمسية.

تعتبر الطاقة الشمسية المصدر الأساسي والرئيسي الذي يمد كوكب الأرض بالطاقة، كما أن أغلب مصادر الطاقة المتجددة يعود أصلها إلى الإشعاعات الشمسية، حيث تبلغ كثافة تدفق الطاقة المنبعثة منها  $63\text{MW}/\text{m}^2$  في جميع الاتجاهات بينما تستقبل الأرض منها  $1.7 \times 10^{14}$  KW، و تكون كثافة تدفق الطاقة على سطح الأرض في حدود  $1\text{KW}/\text{m}^2$ ، وهذه الطاقة التي تصل سطح الأرض تقدر بحوالي 10 آلاف مرة من الطلب العالمي على الطاقة.

وكان استغلال هذه الطاقة إما عن طريق التحويل الكهروضوئي أو التحويل الحراري للطاقة الشمسية، ويقصد بالتحويل الكهروضوئي تحويل الإشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية الكهروضوئية، باستخدام بعض المواد تدعى بأشباه الموصلات كالسيلكون و الجرمانيوم وغيرها.

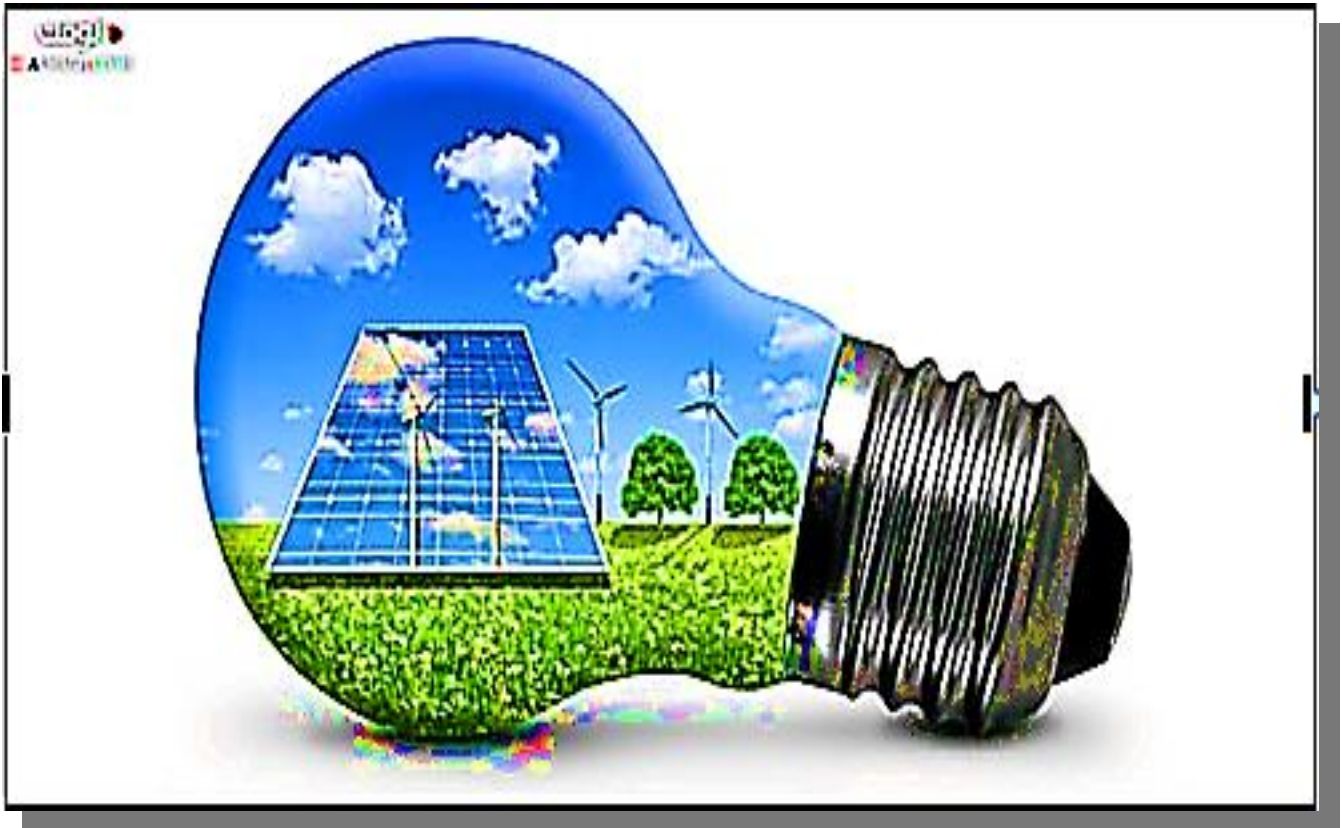
إن عملية توليد الكهربائي باستخدام الخلايا الكهروضوئية، تعتبر في وقتنا الحالي من بين المصادر الأكثر أهمية في مناطق كثيرة من العالم، لازالت الدراسات والبحوث متواصلة لتحسين مردود هذه الخلايا.



من بين المشاكل التي تواجه الباحثين في مجال استخدام الطاقة الشمسية هو وجود الظل، والذي يعتبر من أهم العوامل التي تؤثر على أداء العديد من الأنظمة الضوئية ويكمن هذا التأثير في شدة ومساحة و حجم هذا الظل المتكون على سطح هذه الخلايا.

من خلال بحثنا هذا سوف نتطرق إلى دراسة هذا التأثير على أداء الخلايا الشمسية الكهروضوئية.

و قد قسمنا هذه الدراسة إلى ثلاث فصول، خصصنا الفصل الأول للطاقة الشمسية، حيث تطرقنا إلى دراسة مصادرها واستخداماتها، و في الفصل الثاني قمنا بدراسة الخلايا الكهروضوئية، حيث تعرفنا على أنواع هذه الخلايا وبنيتها ، مبدأ عملها و العوامل المناخية المؤثرة عليها، ثم خصصنا الفصل الثالث لدراسة الظل من حيث انواعه وتأثيره على الخلايا الكهروضوئية، كما تم عرض أهم النتائج التي توصلت لها مختلف الدراسات السابقة.



# الفصل الأول الطاقة الشمسية

## مقدمة:

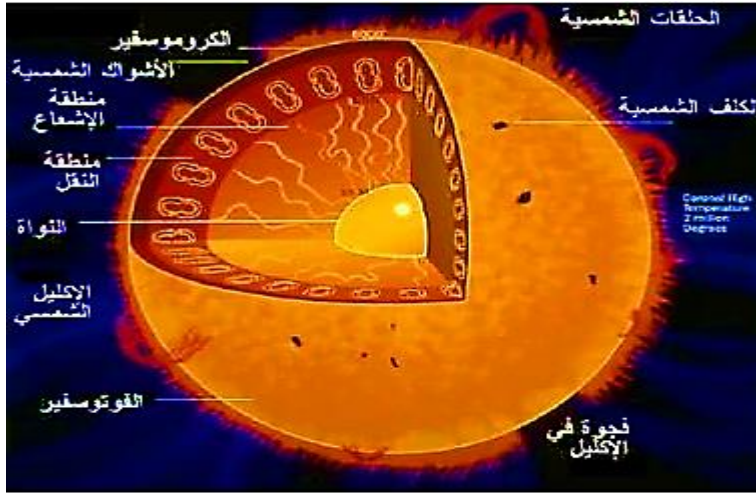
الطاقة الشمسية هي الضوء والحرارة المنبعثان من الشمس، حيث أنها تعتبر من أهم مصادر الطاقة المتجددة خلال القرن الحالي، فهي طاقة نظيفة متجددة ولا تنضب بوجود الشمس. تتوفر الطاقة الشمسية في كل مكان على سطح الكرة الأرضية بكميات متساوية على مدار العام، ولها عائد جيد بفضل التكنولوجيا الحالية، إذ تعتبر أكثر طاقة واعدة للمستقبل. كما تعد الطاقة الشمسية عملية من ناحية استخدامها فهي قابلة للتحويل إلى أنواع أخرى من الطاقة كالطاقة الحرارية والكهربائية. إن الاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر لإنتاج الطاقة الكهربائية هو الحل الأمثل للحصول على طاقة مجانية وغير ضارة للبيئة.

في هذا الفصل سوف نتطرق إلى دراسة عامة حول الطاقة الشمسية، حيث سنذكر آلية تحويل هذه الطاقة ومصدرها، واستخداماتها ونتعرف على الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة على شدة الإشعاع الشمسي.

## I-1 - مصدرها:

الشمس هي مصدر الحياة والطاقات المختلفة على الأرض، فهي كتلة من الغازات المتوهجة، حيث تتكون من 80% هيدروجين و19% هليوم، و1% عناصر أخرى، ويبلغ قطر هذه الكرة  $1.39 \times 10^6 \text{ Km}$ ، وتبعد عن سطح الأرض بمسافة قدرها  $1.5 \times 10^8 \text{ Km}$ ، كما تقدر كثافتها بين ( 80-100) ضعف كثافة الماء، وعلى هذا الأساس يتدفق من الشمس كل يوم كميات هائلة من الطاقة تقدر بالقيمة  $3.7 \times 10^{33} \text{ KW}$ ، و إذا أخذنا بعين الاعتبار المسافة بين الأرض والشمس فإن كمية الطاقة الشمسية التي تصل إلى بداية الغلاف الجوي تعادل  $1.7 \times 10^{14} \text{ KW}$ ، و تمثل هذه القيمة مصدرا كبيرا للطاقة يمكن أن يفي باحتياجات البشرية على سطح الأرض [2].

تستقبل الأرض الطاقة الشمسية بشكل أمواج كهرومغناطيسية تحتوي أشعة فوق بنفسجية، وأشعة مرئية وأشعة فوق حمراء وغيرها.



الشكل (1-I): عناصر الشمس [3].

## 2-I- آلية تحويل الطاقة الشمسية:

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية و طاقة حرارية، من خلال آليتي التحويل الكهروضوئي والتحويل الحراري للطاقة الشمسية :

### ❖ التحويل الكهروضوئي :

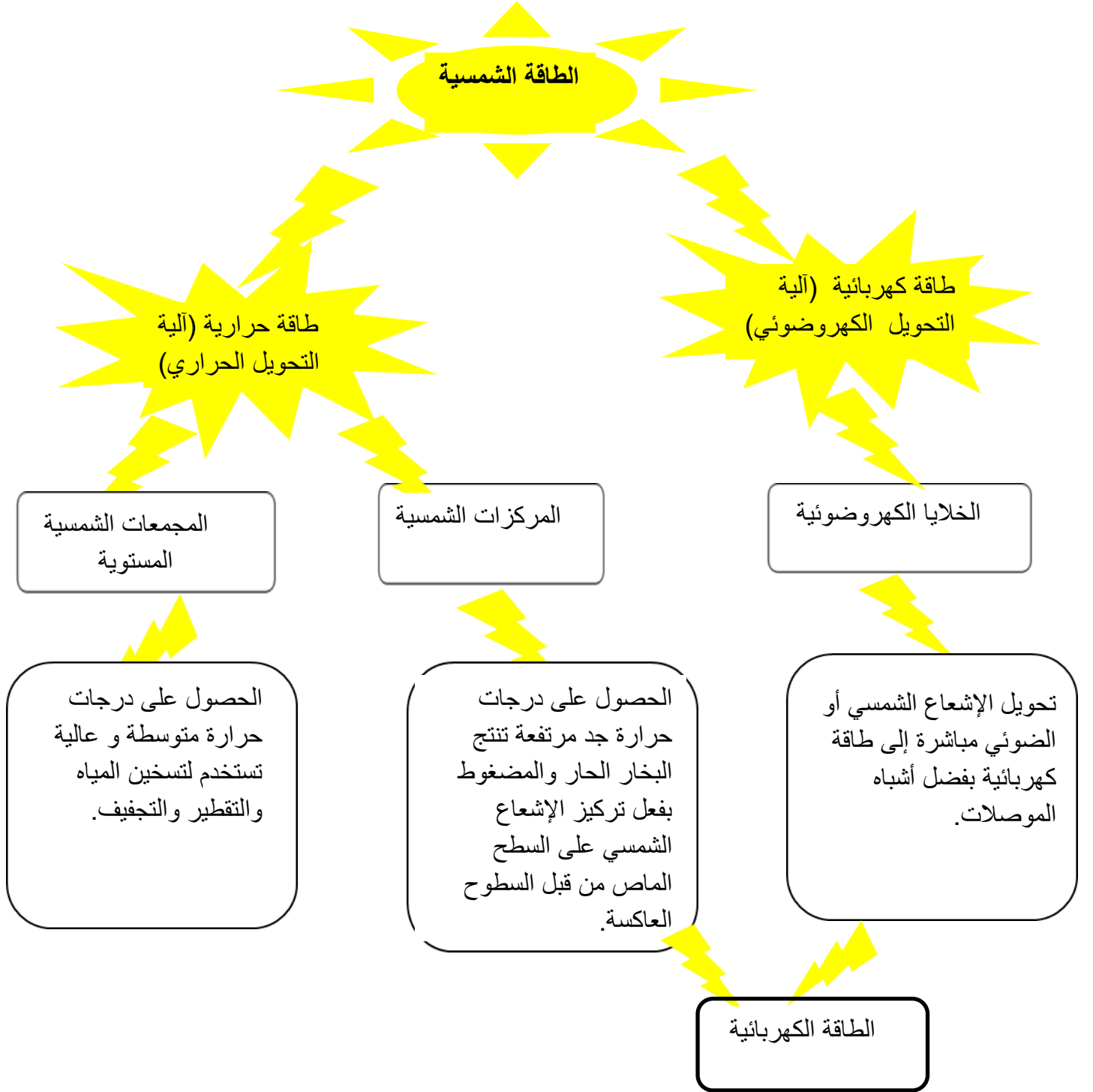
ويقصد بالتحويل الكهروضوئي تحويل الإشعاع الشمسي أو الضوئي مباشرة إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الكهروضوئية، هناك بعض المواد تقوم بهذه العملية تدعى أشباه الموصلات كالسيليكون والجرمانيوم وغيرها.

### ❖ التحويل الحراري :

يعتمد التحويل الحراري للطاقة الشمسية على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات (الأطباق الشمسية) و المواد الحرارية. فإذا تعرض جسم داكن اللون و معزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع و ترتفع درجة حرارته ليستفيد منها في التدفئة و التبريد و توليد الطاقة [4].

**I-3- استخداماتها:**

استفاد الإنسان منذ القدم من طاقة الإشعاع الشمسي في العديد من التطبيقات، كتجفيف الأغذية النباتية والحيوانية والتدفئة، كما تم استخدامها في مجالات أخرى وردت في كتب العلوم التاريخية، فقد استخدم أرخميدس (Archimedes) الخصائص الانعكاسية لمعدن النحاس الأصفر في السفن الرومانية المهاجمة لسيرا كوز (Syracuse) ، حيث أحرق الأسطول الحربي الروماني في الحرب عام 212 ق.م عن طريق تركيز الإشعاع الشمسي على سفن الأعداء بواسطة المئات من الدروع المعدنية، وفي العصر البابلي كانت نساء الكهنة يستعملن أنية ذهبية مصقولة كالمرايا لتركيز الإشعاع الشمسي للحصول على النار. كما قام بعض العلماء باستخدام الطاقة الشمسية في صهر المواد وطهي الطعام وتوليد بخار الماء وتقطير الماء وتسخين الهواء [5].



الشكل (2-I): مخطط يوضح استخدامات الطاقة [6].



#### 4-I - الإشعاع الشمسي:

الإشعاع الشمسي هو الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من الشمس، يتوزع ضمن أطوال

الموجات  $\lambda \in [0.28\mu\text{m} - 4\mu\text{m}]$  يتكون الطيف من ثلاثة أنواع رئيسية [7]:

✓ 9% من الأشعة فوق البنفسجية وتنتمي إلى المجال الذي يقل على  $0.4\mu\text{m}$ .

✓ 47% من الأشعة المرئية التي تنتمي إلى المجال  $[0.4\mu\text{m} - 0.8\mu\text{m}]$ .

✓ 44% من الأشعة تحت الحمراء وتنتمي إلى المجال الذي أكبر من  $0.8\mu\text{m}$ .

كما يعد المصدر الرئيسي للطاقة في الغلاف الجوي إذ يساهم بأكثر من 98% من الطاقة المستغلة فيه وعلى سطح الأرض.

أما المصادر الأخرى للطاقة المتجددة فإنها لا تساهم إلا بقسط ضئيل لا يزيد على 0.02% [8].

#### 1-4-I - أنواع الإشعاع الشمسي:

تنقسم الأشعة الشمسية الواصلة إلى السطح المدروس نتيجة مرورها عبر الغلاف الجوي للأرض إلى:

##### ❖ الإشعاع المباشر:

هو الإشعاع الساقط من الشمس إلى سطح الأرض مباشرة، دون انتشاره أو تبعثره أثناء مروره بالغلاف الجوي.

##### ❖ الإشعاع المنتشر:

هو الإشعاع الشمسي الساقط من الشمس والذي ينتشر أثناء مروره بالغلاف الجوي.

بحيث ينقسم هذا الأخير إلى جزئيين، الأول الشعاع المنتشر في السماء، والثاني الشعاع المنعكس من محيط السطح (الأرض مثلا) [9].

##### ❖ الإشعاع الكلي:

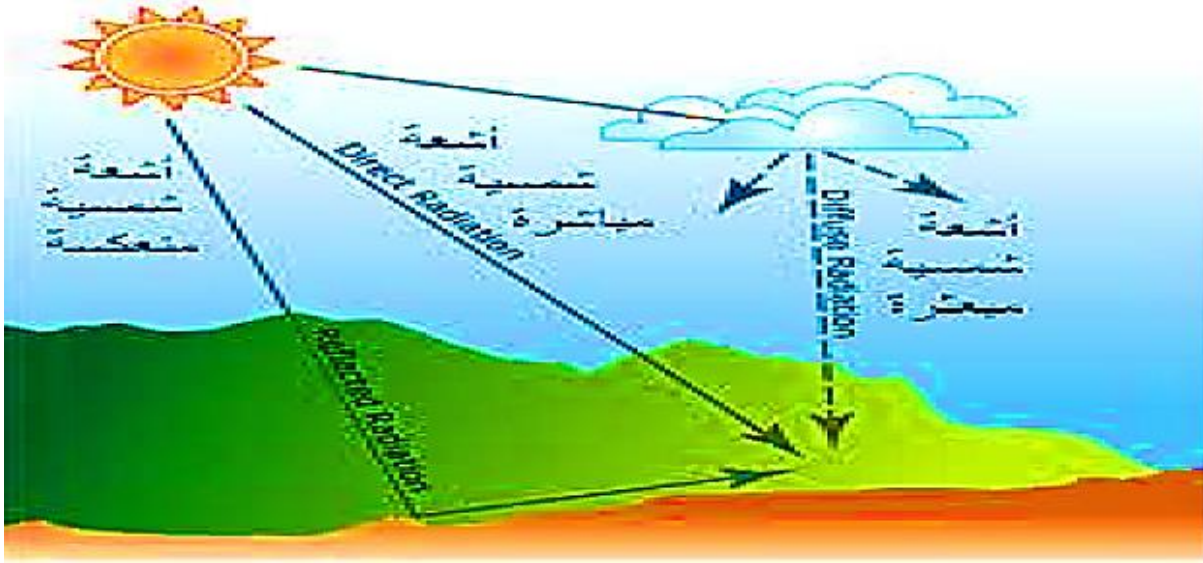
هو مجموع الإشعاع المباشر والمنتشر و يمكن قياسه بجهاز pyranometer، يحسب في حالة الإشعاع الناظمي  $z=0$  بالعلاقة:

$$G = (1270 - 56T_L)(\sin h)^{\frac{T_L+36}{33}} \quad (1-I)$$

حيث  $T_L$  معامل الاضطراب للغلاف الجوي وتعطي صيغته:

$$T_L = 2.5 + \beta_A 16 + 0.5 \ln w \quad (2-I)$$

$\beta_A$  معامل أنغيشتروم و  $w$  ارتفاع الماء المكثف وقيمتها تتغير حسب الحالة الجوية [1].



الشكل (3-1): أنواع الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض [13].

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

في الكثير من التطبيقات الخاصة بالطاقة الشمسية مثل توليد الطاقة الكهربائية بواسطة الخلايا الشمسية فإن حساب أو تقدير كمية الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحة المربعة على سطح الأرض، يعتبر ذو أهمية بالغة لذلك فمن الطبيعي تحديد العوامل المؤثرة على كمية الإشعاع الشمسي وهذه العوامل تتلخص كالتالي (طبيعة الإشعاع، الموقع الجغرافي، مكونات الغلاف الجوي، الزمن حيث يشمل اليوم والشهر والسنة والظروف الجوية).

إن منظومات تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية أو كهربائية تختلف عن باقي المنظومات الأخرى وذلك أن التحكم بكمية الطاقة المتوفرة أمر ليس سهل فهي متغيرة بصورة مستمرة و تحدها عدة عوامل منها [10]:

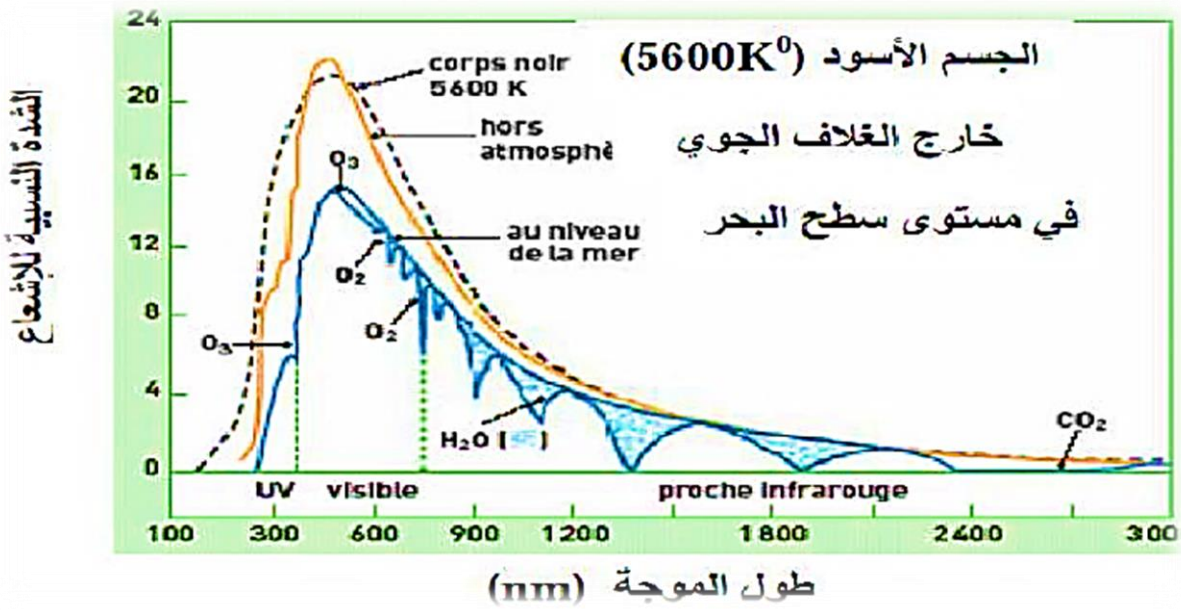
## I-5-1 - الغلاف الجوي:

يتكون الغلاف الجوي من عدة طبقات يصل سمكها إلى عدة كيلومترات فوق سطح الأرض. وعندما تخترق الأشعة الشمسية هذه الطبقات فإن مسارها وكميتها ستتغير حسب مكونات كل طبقة و سمكها. فغاز الأوزون مثلا (الموجود في الطبقة العليا من الغلاف الجوي على ارتفاع 48 كلم من سطح الأرض) يمتص تقريبا جميع الأشعة فوق البنفسجية. و هذه نعمة من الله على عباده إذ لو لا قدرته ثم وجود هذا الغاز لأصبحت الحياة على الأرض مستحيلة بسبب التأثيرات الضارة لهذه الأشعة [11].

تلعب مكونات الغلاف الجوي دورا كبيرا في تقليص الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض وذلك عن طريق [12]:

- ✓ التشتت والامتصاص بسبب جزيئات الهواء.
- ✓ التشتت والامتصاص بسبب العوالق الصلبة في الجو.
- ✓ الامتصاص بواسطة بخار الماء و غاز أول أكسيد الفحم وغاز ثاني أكسيد الفحم.
- ✓ الانعكاس و الامتصاص من طرف السحب في طبقات الجو.

بالإضافة إلى مكونات طبقة الغلاف تلعب سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي دورا هاما في تحديد مقدار الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض، فعند منتصف النهار تكون الشمس عمودية وبالتالي تكون سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي أصغرية والطاقة الواصلة للأرض أعظمية، أما عند الشروق والغروب فإن سماكة الغلاف الجوي التي سيمر خلالها الإشعاع الشمسي تكون أعظمية والطاقة الواصلة للأرض تكون أصغرية كما هو موضح في الشكل، ولهذا السبب فإن حجم طاقة الإشعاع الشمسي يكون مرتفع في المناطق ذات الارتفاع الكبير عن سطح البحر [12].



الشكل (4-I): تأثير الغلاف الجوي على طيف الإشعاع الشمسي [13].

2-5-I - الزوايا الشمسية :

بما أن شدة الإشعاع الشمسي الساقطة على الأرض تتأثر بموقع الأرض بالنسبة إلى الشمس، فمن الضروري معرفة بعض الزوايا الهندسية وفق للإحداثيات التالية :

❖ الإحداثيات الزمنية:

➤ زاوية الانحراف الشمسي (δ) ( La déclinaison ) :

هي زاوية ميل أو انحراف الشمس عن خط الاستواء عند الظهر، وتتراوح قيمة هذه الزاوية بين (+23.45) درجة في الانقلاب الصيفي، و (-23.45) درجة في الانقلاب الشتوي وتحسب بالعلاقة [14]:

$$\delta = 23.45 \sin \left\{ \frac{360}{365} (284 + n_p) \right\} \quad (3-I)$$

حيث :

η : يمثل رقم اليوم من السنة من 1 إلى 365.

➤ الزاوية الساعية ( $\omega$ ) (L'angle horaire) :

هي عدد الدرجات التي تتحركها الشمس في مسارها اليومي عبر السماء وتكون صفر عند الظهيرة وتحسب بالعلاقة التالية [15]:

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (4-I)$$

بحيث :

TSV: الوقت الشمسي الحقيقي.

❖ الإحداثيات الأرضية:

➤ خط الطول (L) (La Longitude):

هي الزاوية التي يصنعها خط الطول المار بالمنطقة مع خط الطول المار ببلدة غرينتش البريطانية يعتبر خط الصفر وتقرأ الزاوية موجبة شرقا وسالبة غربا :

$$L \in [-180^\circ, +180^\circ] \quad (5-I)$$

➤ دائرة العرض ( $\phi$ ) (La latitude) :

تعرف بأنها الزاوية التي تحدد موقع النقطة على سطح الأرض وهي الزاوية المحصورة بين الخط الواصل بين مركز الأرض وموضع النقطة على سطح الأرض مع مستوي خط الاستواء.

❖ الإحداثيات الأفقية :

➤ زاوية الارتفاع الشمسي (h) (La hauteur du soleil) :

عبارة عن الزاوية المحصورة بين الأشعة الشمسية الساقطة والمستوى الأفقي لسطح الأرض، قيمتها متغيرة أثناء ساعات النهار ويمكن تحديد وحساب قيمة هذه الزاوية بدلالة زاوية دائرة العرض وزاوية الانحراف الشمسي وتحسب بالعلاقة التالية [16].

$$\sin h = \cos \phi . \cos \delta . \cos \omega + \sin \phi . \sin \delta \quad (6-I)$$

➤ زاوية السميت الشمسي (a)(L' azimuth) :

هي الزاوية المحصورة بين الخط المار في النقطة على سطح الأرض والمتجه جنوبا وبين المسقط الأفقي للخط الواصل بين النقطة على سطح الأرض والشمس [17].

$$\sin a = \frac{\cos \delta \sin \omega}{(\cos h)} \quad (7-I)$$

6-I- الخاتمة :

مما سبق نجد أن الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقات المتجددة، حيث يتم تحويل هذه الطاقة الى طاقة كهربائية و طاقة حرارية، و من افضل تقنيات تحويلها استخدام الخلايا الكهروضوئية التي تسمح بإنتاج التيار الكهربائي المستمر و ذلك بتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية وهذا ما سنتعرف عليه في الفصل القادم.





الفصل الثاني  
الخلايا الكهروضوئية

مقدمة :

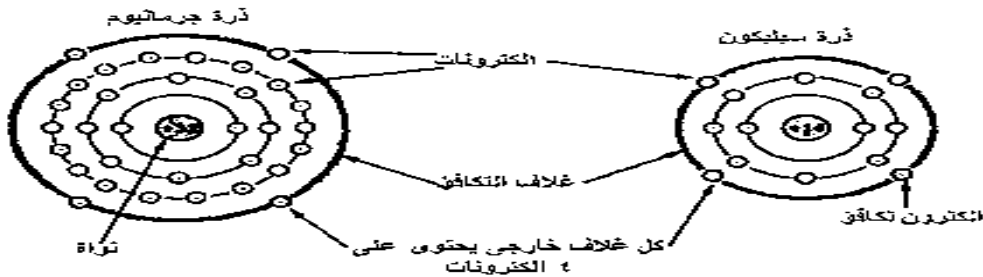
إن عملية توليد الكهرباء باستخدام المنظومات الشمسية الفولتضوئية في وقتنا الحالي من المصادر الهامة والمتنامية في مناطق كثيرة من العالم، حيث أصبحت لها أهمية كبيرة لضرورة استخدامها في الكثير من التطبيقات، تعتبر تقنية جديدة ومتطورة وهي صناعة استراتيجية باعتبارها مصدراً طاقوياً مستقبلياً سيكون له الأثر الأكبر في المحافظة على مصادر الطاقة التقليدية ولأغراض أهم واستغلال أتمن علاوة أن مصدر طاقته مجاني ولا ينضب ونظيف ودون مخلفات أو أخطار وقد بدأت نظم الخلايا الكهروضوئية تنتشر في تطبيقات عديدة مثل الإنارة، الاتصالات، ضخ المياه... وغيرها من التطبيقات [18].

سوف نتطرق في هذا الفصل إلى دراسة الخلايا الكهروضوئية من حيث كيفية عملها، بعض أنواعها، تطبيقاتها وكيفية ربطها، العوامل المناخية المؤثر عليها.

II-1- أشباه الموصلات :

هي مواد مقاومتها النوعية وسط بين المقاومة النوعية للمواد الموصلة والمواد العازلة، تعرف أشباه الموصلات بأنها مواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة بحيث أنها لا تسمح بمرور التيار الكهربائي خلالها، وتسمح بمروره عند ارتفاع درجة حرارتها أو عند وجود شوائب في بلوراتها فتعتبر لذلك من المواد الموصلة، تعتبر أشباه الموصلات من أهم عناصر الإلكترونيات الحديثة، إن أكثر المواد والعناصر المستخدمة في صناعتها هما عنصري السيليكون ( $Si$ )، والجرمانيوم ( $Ge$ ) [19].

ولكن دراستنا سوف تقتصر على عنصر السيليكون باعتباره شبه الموصل الأكثر استعمالاً في صنع الخلايا الكهروضوئية.



الشكل (II-1): الترتيب البلوري لمادتي السيليكون والجرمانيوم [5].

## II-2 - تصنيف أشباه الموصلات :

يتم تصنيف أشباه الموصلات الى نوعين أساسيين هما :

### II-2-1 - مواد شبه موصلة نقية :

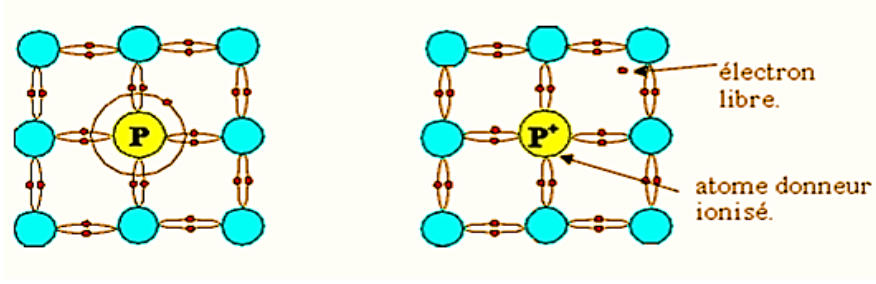
إن السيليكون النقي أو الجرمانيوم النقي هو ما يمثل هذا النوع من أشباه الموصلات، عند ارتفاع درجة الحرارة يخرج إلكترون التكافؤ من مداره ليصبح إلكترون حراً و يمكن تخيل مكانه السابق بتواجد فجوة، تنكسر الرابطة التساهمية في موضع تكوّن الفجوة، و زيادة درجة حرارة شبه موصل النقي تؤدي إلى زيادة تولد أزواج الإلكترونات الحرة والفجوات وبالتالي زيادة التيار، وعدد الإلكترونات الحرة يساوي عدد الفجوات في هذا النوع من أشباه الموصلات، ولا يتم استخدام هذا النوع في الصناعة وذلك لأن زيادة حاملات الشحن تعتمد على زيادة درجة الحرارة فكلما ارتفعت درجة الحرارة ارتفع عدد حاملات الشحن ولكن في الغالب نريد أن تعمل الأجهزة الإلكترونية في درجة الحرارة العادية، ويتم ذلك بواسطة شبه موصل غير النقي [19].

### II-2-2 - مواد شبه موصلة غير نقية :

هذا النوع من أشباه الموصلات يتم صناعته عمليا بعملية تسمى التطعيم (Dopage) وهي عبارة عن إضافة نسبة من الشوائب بغرض جعل المواد شبه الموصلة غير النقية تقبل عملية التوصيل الكهربائي، الشوائب المستخدمة هي عبارة عن ذرات لعناصر خماسية التكافؤ أو ثلاثية التكافؤ بمعنى وجود خمس أو ثلاث إلكترونات تكافؤ في مدارها الأخير. و بناء على نوع الشوائب التي تم إضافتها يمكن تصنيف شبه الموصل غير النقي إلى نوعين نوع موجب P، ونوع سالب N [19].

#### ❖ المادة نوع N :

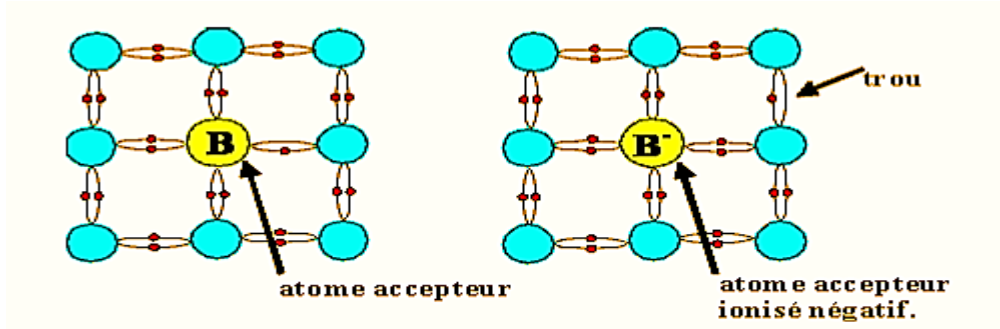
يصنع هذا النوع بإضافة شوائب من العناصر خماسية التكافؤ أي التي لها خمس إلكترونات تكافؤ في مدارها الأخير، مثل (الفسفور P والزرنيخ As و الأنتيمون Sb)، وتكون ناقلات الشحن فيها هي إلكترونات الحرة بحيث أنه يتم ربط كل أربعة إلكترونات من المادة الشائبة (الفسفور P) بروابط تساهمية مع ذرات السليكون ليكتمل المدار الخارجي لذرة السليكون، ويتبقى إلكترون غير مرتبط بأي ذرة وبالتالي فهو إلكترون حر. وبهذه الطريقة يزداد عدد الإلكترونات السالبة الحرة وتعرف هذه المواد بالنوع N.



الشكل(II-2): تطعيم ذرات السيليكون بذرات الفوسفور.

### ❖ المادة نوع P :

ويتم صناعة هذا النوع بإضافة شوائب من مادة ثلاثية التكافؤ، مثل (الألمنيوم AL و البورون B و الأنديموم In)، وتكون ناقلات الشحن فيها هي الفجوات (أو الفراغ الذي يخلفه الإلكترون المتحرر من الرابطة) بحيث يتم ربط إلكترونات التكافؤ الثلاثة للمادة الشائبة (البورون B) مع ذرات السيليكون برابطة تساهمية، وهنا نجد أن ذرة السيليكون ينقصها إلكترون واحد حتى يكتمل البناء الترابطي التساهمي وهذا يعني وجود فجوة (trou) واحدة موجبة من حيث المكان وليس من حيث الشحنة ولها قدرة قوية على جذب إلكترون وبهذه الطريقة يزداد عدد الفجوات وتعرف هذه المواد بالنوع P.



الشكل(II-3): ذرة البورون وعملية التطعيم.

### 3-II - نبذة تاريخية عن الخلايا الكهروضوئية :

الخلايا الكهروضوئية هي إحدى أهم الاكتشافات التي تمكنا الإنسان بفضلها من تأمين جزء من احتياجاته المتزايدة للطاقة، عن طريق تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية سواء بشكل مباشر أو غير مباشر. ومن خلال الجدول التالي سوف نتعرف على فكرة اكتشاف هذه الخلايا :

الجدول (1-II): التطور التاريخي لإنتاج الخلايا الكهروضوئية.

تطور الخلايا الكهروضوئية	العالم	العام
تم دراسة تأثير الضوء على بعض معادن المحاليل وخصائص التيار الكهربائي الناتج عنها [20].	بكيرل هنري (Becquerel)	1839
تم الوصول إلى مفهوم الناقلية الكهربائية لأول مرة [20].	أدم و سميث	1877
تم تركيب أول خلية شمسية من مادة السيلينيوم حيث توقع أن تساهم في إنتاج الكهرباء مستقبلاً [20].	فريترز	1883
تم تصنيع أول خلية سيليكونية بكفاءة لا تتجاوز 1% [20].	/	1941
تم صناعة أول خلية فوتوفولتية عالية الطاقة من السيليكون بمختبر (Bell) حققت كفاءة 6% [5].	/	1954
أنجزت خلايا فوتو فولتية بكفاءة 14% [5].	/	1960
أطلقت ألمانيا برنامجاً لتركيب الخلايا الشمسية على الأسطح [5].	/	1990
قدمت لجنة المرافق (CPUC) العامة تقنية متقدمة لبرنامج شمسي مدعوم خلال 10 سنوات، من خلال مبادرة كاليفورنيا للطاقة الشمسية [5].	/	2006
ومنذ ذلك الحين استمر التطور في إنتاج الخلايا على مستوى العالم.		

## II-4 - تعريف الخلايا الكهروضوئية:

تعرف الخلايا الكهروضوئية (الخلايا الشمسية) على أنها أداة إلكترونية مصنوعة من أشباه الموصلات، لها القدرة على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية يتولد عنها تيار كهربائي مستمر DC ترتبط قيمته بمعامل امتصاصها للضوء، وتسمى هذه الظاهرة بتأثير الفولتضوئية.

تعتبر الخلية أهم جزء في منظومة الخلايا الكهروضوئية، لكن لا يمكنها توليد الكهرباء بمفردها بل تُصَف الخلايا الشمسية مع بعضها البعض في شكل موديلات (Module) .

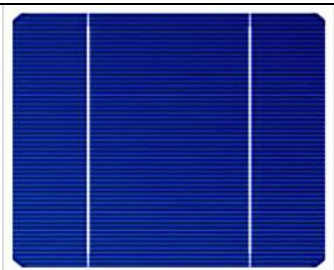
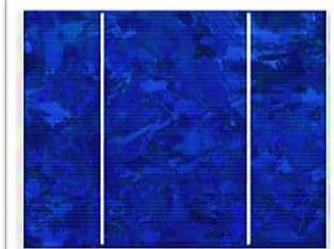
يستخدم الربط على التسلسل للحصول على الجهد اللازم، كما يعطي الربط على التوازي التيار المطلوب.

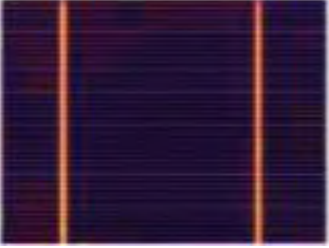
## II-5 -أنواع الخلايا الكهروضوئية:

هناك عدة أنواع من الخلايا الكهروضوئية، يمكن تصنيفها كالآتي:

### II-5-1 الخلايا السيليكونية :

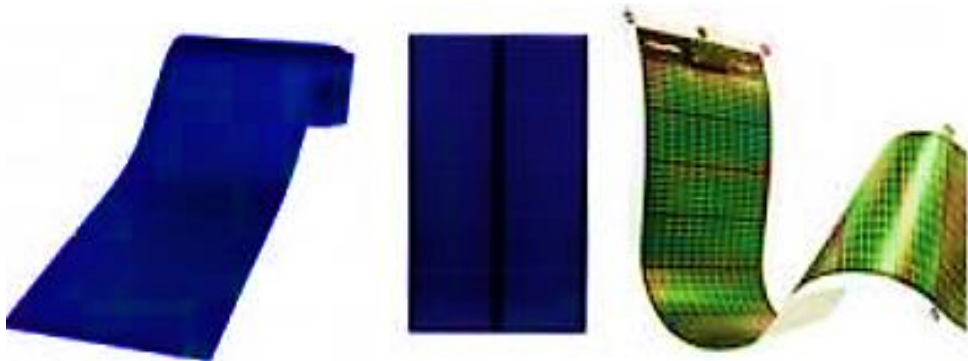
الجدول (II-2): أنواع الخلايا السيليكونية.

Cellule en silicium monocristallin الخلايا أحادية التبلور		
	لون الخلية	عادة تتوفر باللون الأسود و الأزرق.
	كفاءة الخلية	12-16 % (23% في المختبر) [21].
	وصف الخلية	تتميز هذه الخلايا بصعوبة تصنيعها وكلفتها العالية لأن الحصول على كريستال نقي يتطلب الكثير من الطاقة لإنتاجه [21].
Cellule en silicium polycrystalline الخلايا متعددة البلورة		
	لون الخلية	تتميز بتداخل درجات الألوان والغالب تأخذ اللون الأزرق.
	كفاءة الخلية	11-13 % (18% في المختبر) [21].

	يتميز هذا النوع من الخلايا بتكلفة إنتاج منخفضة كما أنه يتطلب طاقة أقل أثناء تصميمه [21].	وصف الخلية
<b>الخلايا الغير متبلورة Cellule en silicium amorphas</b>		
	تتوفر باللون الرمادي داكن و البني.	لون الخلية
	5% (14% في المختبر) [22].	كفاءة الخلية
	تحتوي على معامل امتصاص أعلى من السليكون البلوري، تكلفة إنتاجها أقل بكثير من تكلفة الخلايا البلورية، بالإضافة إلى أنها يمكن أن تعمل في ضوء منخفض جداً وتعتبر بديلاً جيداً للخلايا البلورية في المواقع المعرضة لتظليل شديد، وسعرها أقل [22].	وصف الخلية

#### II-5-2- الخلايا الرقيقة :

هي أحد أنواع الخلايا التي تجذب اهتماماً واسعاً من قبل المصممين، وهذا راجع لقابليتها على التشكل، فهي مرنة وقابلة للطي وخفيفة الوزن كما أنه من الممكن استخدامها على السطوح الأفقية والمنحنية بأدائية عالية، ومن الممكن أنها تتوفر بأشكال صلبة كباقي الأنواع أو خلايا بهيئة رقائق متعددة خفيفة الطبقات يتم ترسيبها عند التصنيع وسمكها لا يتجاوز بعض الميكرونات [3].



الشكل (II-4): أشكال الخلايا الرقيقة [3].

و من أنواعها :

❖ خلايا الكادميوم تليرايد (cdte) :

هي مواد من أشباه الموصلات مركبة من الكادميوم وتليرايد، تمتاز بامتصاصية عالية للضوء، كما يمتاز بسهولة التصنيع، وتتراوح كفاءتها من 7-10 %، من عيوبها أن الكادميوم مادة سامة [3].

❖ خلايا الكوبرانديوم ديسلنايد (CIS) :

هي مواد من أشباه الموصلات مركبة من النحاس و الانديوم و السلينايد، وقد استخدمت في تصنيع خلايا وصلت كفاءتها مخبرياً إلى 12 % [12].

❖ خلايا الغاليوم ارسنايد (GaAS) :

الغاليوم ارسنايد هي مادة ملائمة جداً للاستخدام في تطبيقات الخلايا الكهروضوئية لكونها ذات معامل امتصاص عالي للضوء، كما تتمتع بكفاءة جيدة، ويمكن أن تعمل تحت ظروف حرارة عالية نوعاً ما، دون أن تتناقص في أدائها كالخلايا السليكونية، وبعض أشباه الموصلات التي تعاني من هذه المشكلة [12].

### 3-5-II الخلايا العضوية :

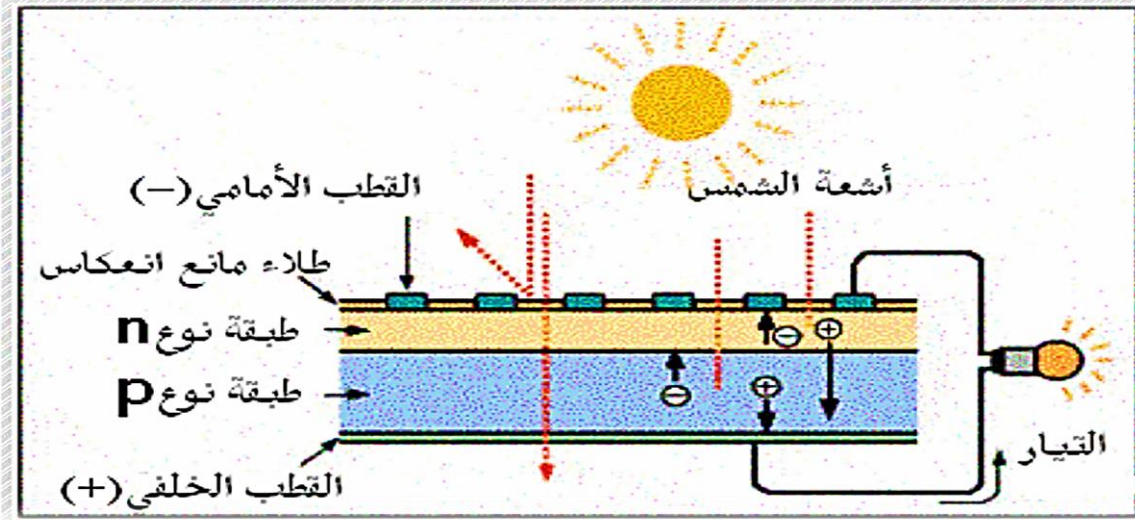
تصنع هذه الخلايا من مواد كربونية، تمتاز هذه الخلايا بقابلية تدويرها وخفة وزنها، ويمكن أن تعمل في ظروف الإضاءة الخفيفة مثل أن تكون السماء ملبدة بالغيوم أو في داخل المنازل، كما أنه من الممكن أن تولد الطاقة الكهربائية من الإنارة المنزلية وليس بالضرورة من أشعة الشمس المباشرة، ولكن التحدي الكبير الذي تواجهه هذه الخلايا هو مردودها المنخفض.

### 6-II - بنية الخلية الكهروضوئية:

الخلية الكهروضوئية هي عبارة عن طبقة متجانسة (p-n) من السيليكون، بمعنى آخر هي ضم نوعين من أشباه الموصلات أحدهما سالب والآخر موجب، فيصنع الناقل الإيجابي لاحتوائه أيونات سلبية ويصنع الناقل السلبى لاحتوائه أيونات إيجابية، وهذه الأيونات بدورها تهىء البيئة الضرورية لمرور تيار كهربائي يتحرك ضمن الخلية الشمسية، والضوء الصادر من الشمس هو عبارة عن مجموعة من جزيئات الطاقة الصافية المسماة بالفوتونات. أما الجانب الخلفي لها عبارة عن معدن دوره حجز الفوتونات المنبعثة نحو الخلية ومنع خروجها، ويحتوي الوجه الأمامي على طبقة مضادة للانعكاس لتقليل الانعكاسات و استغلال أكبر قدر ممكن من الضوء.



تندفق 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 و إفلات (تحرير) إلكترون خارجي من مداره محولا طاقته إلى طاقة حركة للإلكترون مما تؤدي هذه الحركة إلى توليد تيار كهربائي مستمر، وكلما كان الضوء أقوى كان تدفق الكهرباء أكبر أي شدة التيار المتولد أعلى.

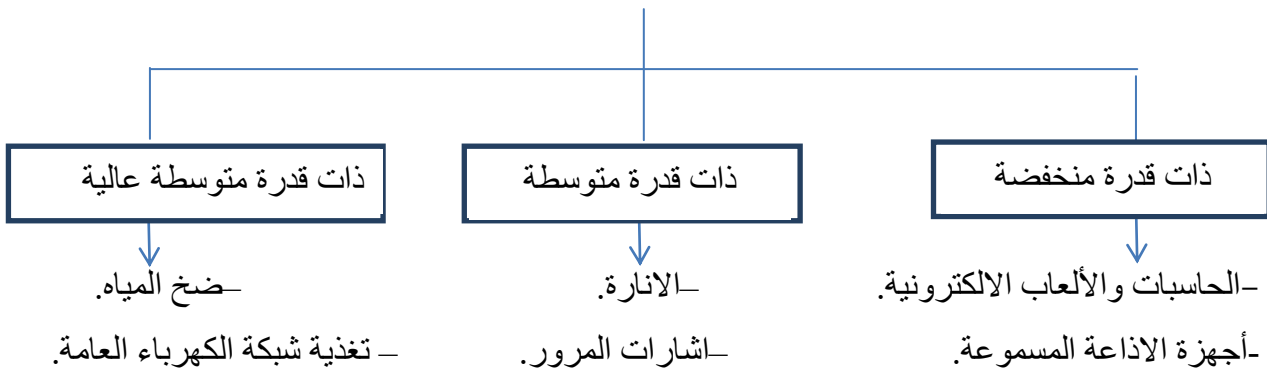


الشكل (II-5): المكونات البسيطة للخلية الكهروضوئية [12].

## 7-II - تطبيقات الخلايا الكهروضوئية :

ساعد التوسع في استخدام الخلايا الكهروضوئية على انتشار تطبيقاتها في كافة المجالات، بغية تطور تقنية وسائل الاستخدام، بحيث يوضح لنا المخطط التالي بعض تطبيقاتها.

### تطبيقات الخلايا الكهروضوئية



الشكل (II-6): مخطط تطبيقات الخلايا الكهروضوئية [18].

## II-8 - مبدأ عمل الخلية الكهروضوئية :

يعتمد تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية على التأثير الكهروضوئي، الذي يحول مباشرة الطاقة الضوئية من أشعة الشمس إلى كهرباء من خلال إنتاج ونقل الشحنات الكهربائية الإيجابية والسلبية في مادة أشباه الموصلات مثل السيليكون [23].

ولكي يتم هذا التحويل يجب أن تتحقق ثلاث آليات أساسية وهي:

- ✓ امتصاص الفوتونات (التي لها طاقة أكبر من طاقة الفجوة) من طرف المادة المكونة للخلية.
- ✓ تحويل طاقة الفوتونات إلى طاقة كهربائية والتي من خلالها يتم خلق زوج (إلكترون - فجوة) في مادة أشباه الموصلات.
- ✓ جمع الجزيئات المتولدة في الجهاز.

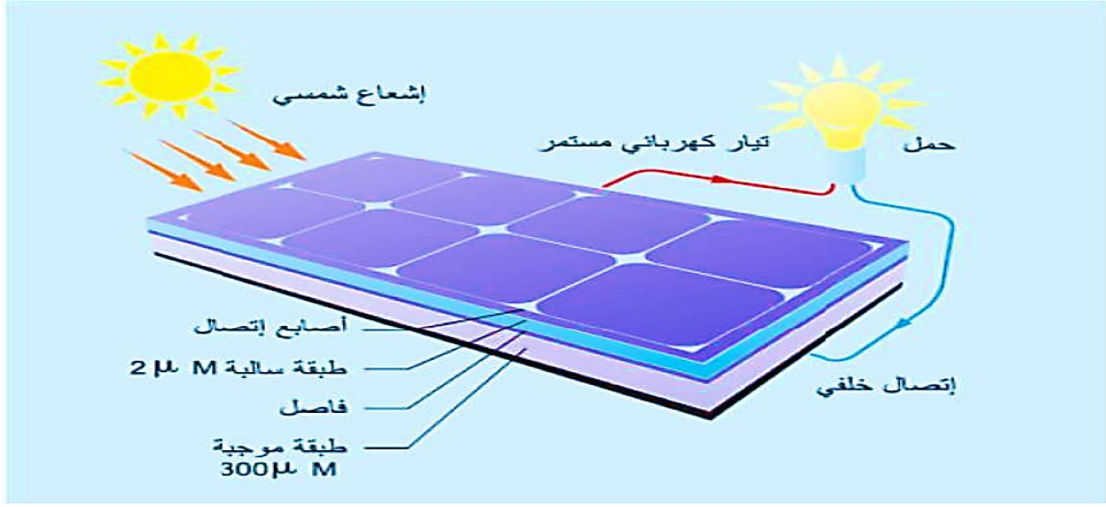
فعند سقوط فوتونات (photons) الإشعاع الشمسي على منطقة التماس (junction p-n) سوف تكتسب بعض الإلكترونات طاقة من تلك الفوتونات مسببة رفعها إلى مستوى طاقة أعلى، نتيجة لهذه العملية تتكون إلكترونات حرة الحركة يمكنها السريان خلال الموصل الكهربائي في أطراف الخلية، فعندما تتحرك هذه الإلكترونات تترك وراءها فجوات (trous) متحركة في المادة، وتزداد هذه الحركة بزيادة كثافة الضوء الساقط على الخلية، فعند منطقة الارتباط (junction p-n) تتجذب بعض الإلكترونات المجاورة لها من جهة n لتتحد مع الثقوب في جهة p، وبنفس الطريقة فإن الثقوب المجاورة لمنطقة الارتباط من جهة p تتجذب لتتحد مع الإلكترونات في جهة n القريبة.

ينتج عن هذه الحركات تشكل حاجز عند هذه المنطقة التي تفصل النوع السالب عن النوع الموجب، يمنع هذا الحاجز المزيد من الإلكترونات الأخرى في جهة n من اتحاد مع الثقوب في جهة p فينتج لنا ما يسمى بالمجال الكهربائي.

هذا المجال يعمل عمل الصمام الثنائي (Diode) حيث يسمح بمرور الإلكترونات من الجهة الموجبة إلى الجهة السالبة وليس العكس، وبهذا يكون لدينا في كل خلية كهروضوئية مجال كهربائي يحدد اتجاه حركة الإلكترونات.

إن سريان الإلكترونات إلى جهة n والفجوات إلى جهة p هو ما يسمى بالتيار الكهربائي، فإذا كانت هناك دائرة خارجية تسمح بمرور التيار فيها فإن الإلكترونات المتحركة تترك شبه الموصل إلى أحد الأسلاك الخارجية في الخلية وفي نفس الوقت تتجه الفجوات إلى اتجاه معاكس

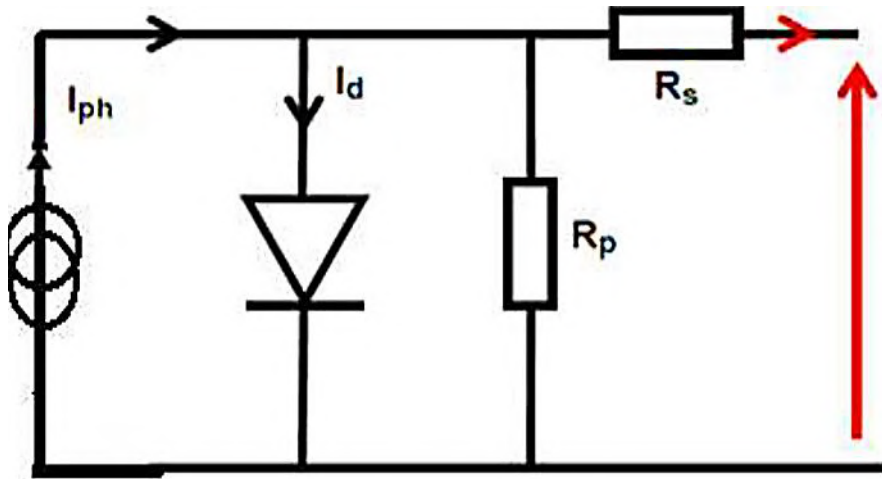
خلال المادة إلى أن تصل إلى السلك الخارجي الآخر في قاع الخلية، وعندها ستمتلى بواسطة الإلكترونات القادمة من نصف الدارة الخارجية الأخرى [24].



الشكل (II-7): مبدأ عمل الخلايا الكهروضوئية [25].

## II-9- الدارة الكهربائية المكافئة :

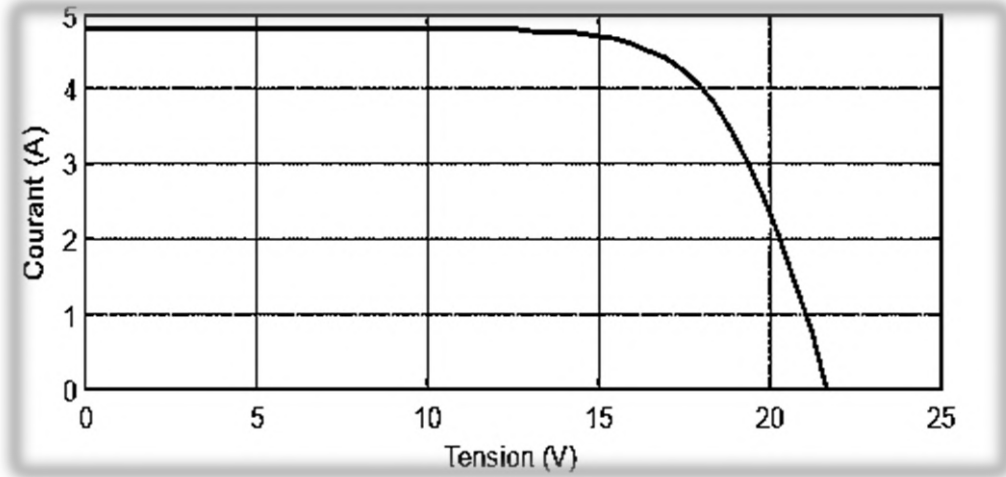
لفهم سلوك الخلية الكهروضوئية لابد من إنشاء نموذج كهربائي مكافئ لها، حيث يتكون هذا يتكون النموذج من مولد تيار تتناسب قيمته مع الإضاءة المستلمة على سطح الخلية الكهروضوئية، ومن الصمام الثنائي الذي يمثل تقاطع (P-N) الموجود في خلية PV، من المقاومة التسلسلية  $R_s$  التي تأخذ في الاعتبار الخسائر الأومية للمواد والمعادن والتلامس المعدني شبه الموصل، ومقاومة موازية  $R_p$  تمثل تيار التسرب الذي يقع بين الجزء العلوي والسفلي من الخلية (P-N)، عند الحافة بشكل خاص ودخل المادة، وذلك بسبب عدم التجانس أو وجود الشوائب أو العيوب [23].



الشكل (II-8): مخطط كهربائي مكافئ لخلية كهروضوئية [23].

## 10-II - خصائص منحنى الجهد و التيار (I-V):

توصف الخلية الكهروضوئية بفرق جهد دارتها المفتوحة و تيار دارتها المغلقة، والشكل (9-II) يوضح العلاقة بين الجهد و التيار لخلية كهروضوئية [5]:



الشكل (9-II): منحنى خصائص الجهد و التيار لخلية كهروضوئية [25].

ومن خصائص  $I(V)$  للخلية الكهروضوئية :

### ❖ تيار الدارة المغلقة أو تيار الدارة القصير $I_{CC}$ :

هو التيار المار في الخلية الكهروضوئية بدون حمل أو بدون مقاومة، هو أقصى تيار تستطيع الخلية إنتاجه من الإشعاع الشمسي، وفي هذه الحالة يكون فرق الجهد معدوماً.

### ❖ فرق جهد الدارة المفتوحة $V_{OC}$ :

هو فرق الجهد بين أطراف الخلية الكهروضوئية في حالة عدم مرور أي تيار بدائرة، عندما تكون مقاومة الحمل لا نهائية.

## 11-II - الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية $P_{max}$ :

وتعرف الاستطاعة الأعظمية للخلايا الكهروضوئية  $P_{max}$  بأنها الناتج الأعلى من حاصل الضرب بين النقطة القصوى للتيار  $I_m$  و النقطة القصوى للجهد  $V_m$  (أي عند نقطة التشغيل)، وتعطى بالعلاقة التالية [26]:

$$P_{max} = I_m \cdot V_m \quad (1-II)$$

## II-12 - كفاءة الخلية الكهروضوئية $\eta$ :

ويتم تعريفها على أنها النسبة بين الطاقة القصوى التي تنتجها الخلية، وقوة الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الخلية، وتعرف بالعلاقة التالية :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{\text{in}}} = \frac{FF \cdot I_{\text{cc}} \cdot V_{\text{oc}}}{G \cdot S} \quad (2-II)$$

حيث أن  $S$  هو سطح الخلية في  $(\text{m}^2)$  و  $G$  شدة الإشعاع  $(\text{W}/\text{m}^2)$ .

يمكن تحسين هذه الكفاءة من خلال زيادة معامل الشكل و تيار الدارة القصر و فرق جهد الدارة المفتوحة، ومعرفة قيمة هذه الكفاءة يمكننا من تقييم أداء الخلية [27].

## II-13 -معامل الشكل FF :

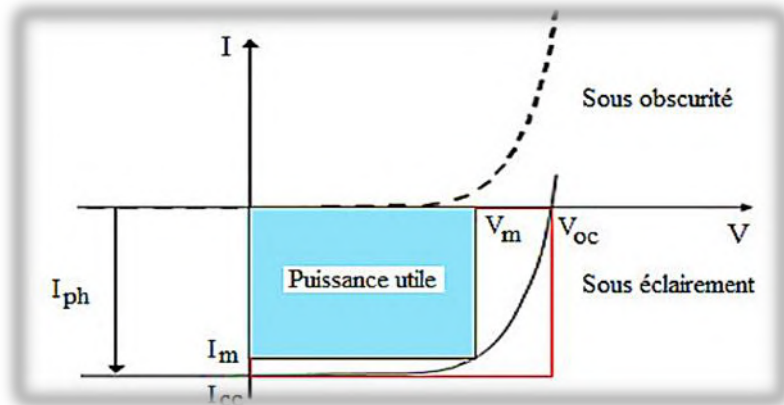
هو النسبة بين الطاقة القصوى  $P_{\max}$  و طاقة المنتجة  $P_T$  ويعطي بالعلاقة التالية :

$$FF = \frac{P_{\max}}{P_T} = \frac{V_m I_m}{V_{\text{oc}} I_{\text{cc}}} \quad (3-II)$$

حيث:

$P_{\max}$  تمثل مساحة أصغر مستطيل و  $P_T$  تمثل مساحة أكبر مستطيل، حسب الشكل (10-II).

بالنسبة للخلايا ذات مردود متوسط قيمة معامل الشكل تتراوح ما بين 0.7 الي 0.85 [28].



الشكل (10-II): تعريف معامل الشكل [29].

## 14-II - تجميع الخلايا:

من المعلوم أن جهد وتيار الخلية ضعيف جدا، لذلك يتم توصيل عدة الألواح (مصفوفة) على التوالي أو على التوازي للحصول على الجهد والتيار المطلوب، عند التوصيل على التوالي (series) تتضاعف قيمة الجهد ويبقى التيار ثابت، أما عند التوصيل على التوازي (parallel) فإن قيمة التيار تتضاعف و الجهد يبقى ثابت. مهما كان نوع توصيل لن يغير القدرة الناتجة (Watt).

### 1-14-II- تجميع الخلايا على التوالي :

وتتمثل في ربط عدد من الخلايا الكهروضوئية على التوالي للحصول على الجهد المطلوب، وتتم عن طريق توصيل النهايات مع البدايات الموجب مع السالب والسالب مع الموجب [3].

فعند وصل مجموعة من الألواح على التوالي عددها  $N_s$  فإن الجهد المتحصل عليه  $V_{sco}$  يمثل مجموع جهود كل الألواح، أما النسبة للتيار الناتج  $I_{scc}$  فهو نفسه تيار اللوح الواحد.

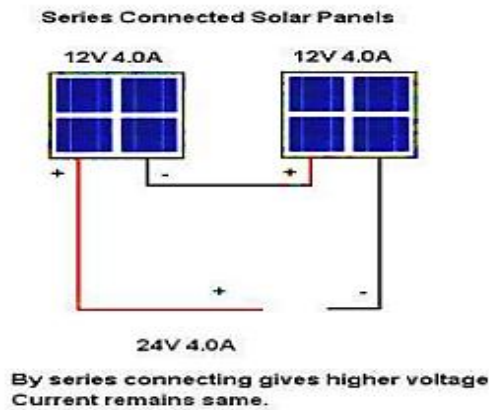
يعطى الجهد والتيار بالعلاقة التالية :

$$I_{cc} = I_{scc} \quad (4-II)$$

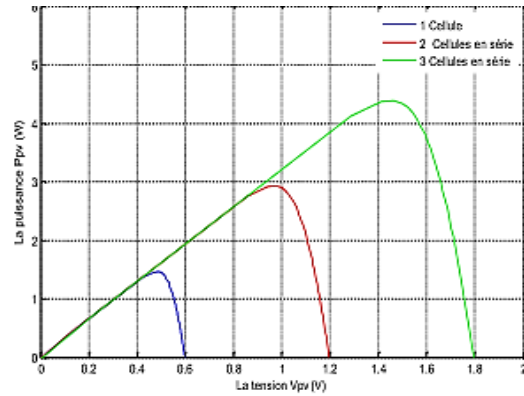
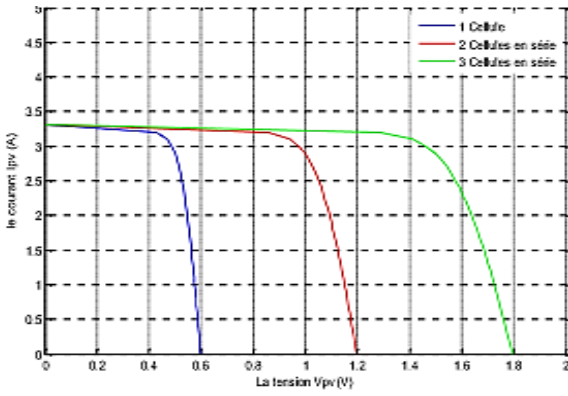
$$V_{sco} = N_s V_{co} \quad (5-II)$$

$I_{cc}$  تيار الدارة القصر.

$V_{co}$  فرق جهد الدارة المفتوحة.



الشكل (11-II): تجميع الخلايا على التوالي [30].

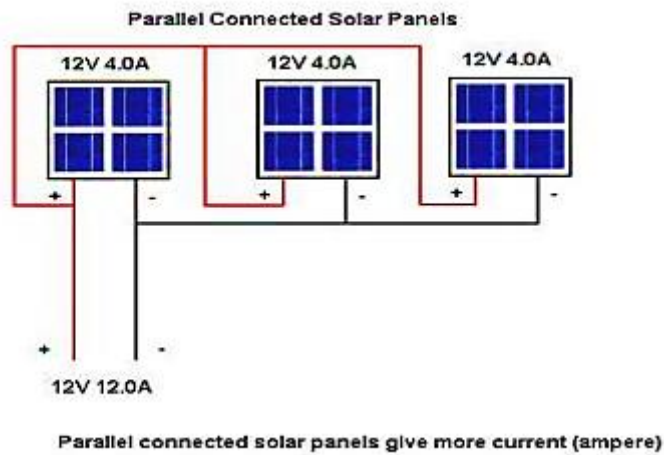


الشكل (13-II): خصائص (I-V) للخلايا PV مربوطة على التوالي [31].

الشكل (12-II): خصائص (P-V) للخلايا PV مربوطة على التوالي [31].

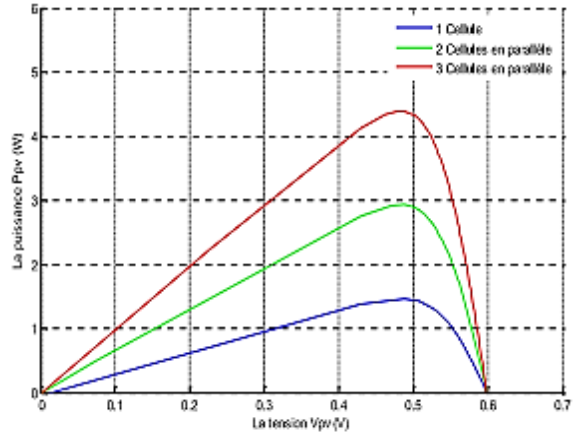
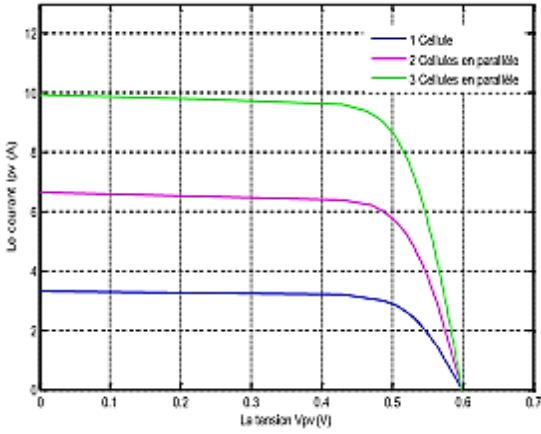
II-14-2- تجميع الخلايا على التوازي :

ويشمل ربط مجموعة من الخلايا الكهروضوئية على التوازي للحصول على التيار المطلوب، ويتم عن طريق توصيل البدايات مع البدايات والنهايات مع النهايات (الموجب مع الموجب والسالب مع السالب)، للحفاظ على نفس الجهد و زيادة في التيار الكلي بجمع قيم التيارات المختلفة لجميع الخلايا الكهروضوئية [3].



الشكل (14-II): تجميع الخلايا على التوازي [30].



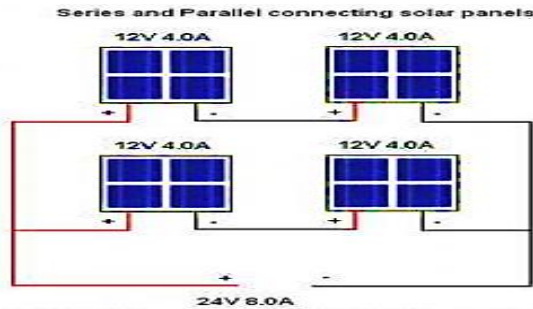


الشكل (II-16): خصائص (I-V) للموديولات  
مربوطة على التوازي [31].

الشكل (II-15): خصائص (P-V) للموديولات  
مربوطة على التوازي [31].

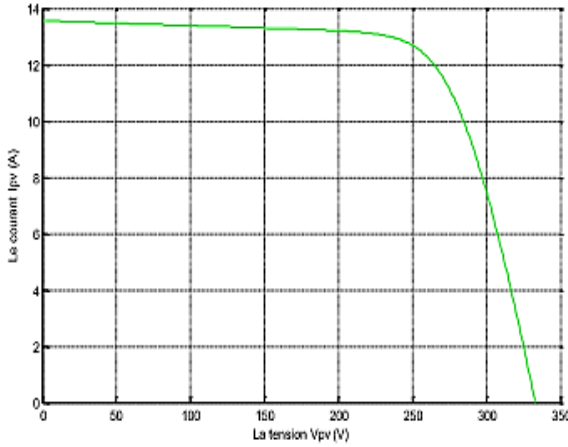
II-14-3- تجميع الخلايا على التوالي وعلى التوازي :

يتم دمج بين الطريقتين للحصول على قدرة أكبر، وبذلك نحصل على ميزات الوصل على التوالي وعلى التوازي في نفس الوقت، وبهذا نتحصل على توتر مرتفع نسبيا وتيار كبير نسبيا وهذه الطريقة هي الأكثر استعمالا ويكون التوصيل كما في الشكل التالي :

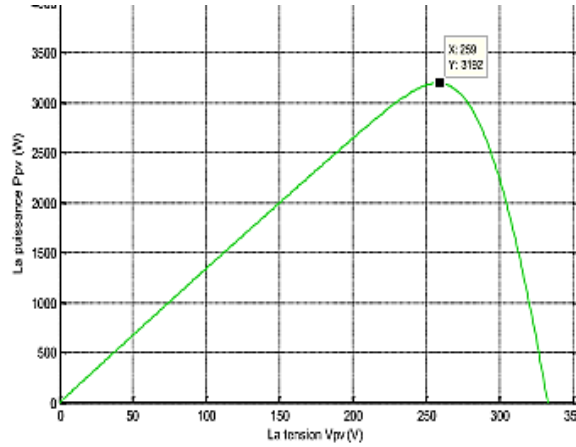


الشكل (II-17): خلايا كهروضوئية مربوطة على التوالي والتوازي [30].





الشكل(II-19):منحني العلاقة بين I-V لحالتي التوالي والتوازي للموديولات [31].



الشكل(II-18):منحني العلاقة بين P-V لحالتي التوالي والتوازي للموديولات [31].

## II-15- تأثير العوامل المناخية على الخلية الكهروضوئية :

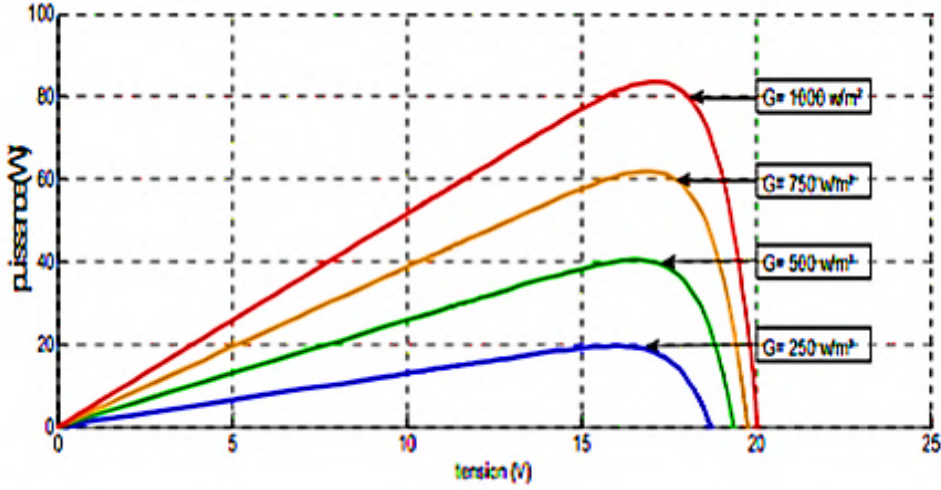
تمثل شدة الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الوسط أهم العوامل المؤثرة على كفاءة الخلية الشمسية. وهذه العوامل المناخية تؤثر على خرج الخلية الكهروضوئية (الجهود  $V$  – التيار  $I$  – نقطة القدرة القصوى  $M_{pp}$ ). كما أن هذه العوامل لها أثر على الحرارة الداخلية للخلية الشمسية والتي بدورها تؤثر على أداء الخلية [32].

### II-15-1- تأثير شدة الإشعاع الشمسي على خرج الخلية الكهروضوئية :

إن أداء الخلية الكهروضوئية المصنعة من السيلكون أحادي البلورة ومتعدد البلورات يعتمد على شدة الإشعاع الشمسي الساقط والذي يقاس ب  $(W/m^2)$ ، ويزداد التيار المتولد من الخلية كلما زادت شدة الإشعاع الشمسي [32].

أما جهد الدارة المفتوحة للخلية الكهروضوئية فإنه يرتفع إلى قرب أعلى قيمة له مع بداية ظهور الشمس، وبالنسبة للتيار دائرة القصر فإنه يرتفع خطياً مع شدة الإشعاع الشمسي وتعتمد قيمته على مساحة الخلية الشمسية [32].

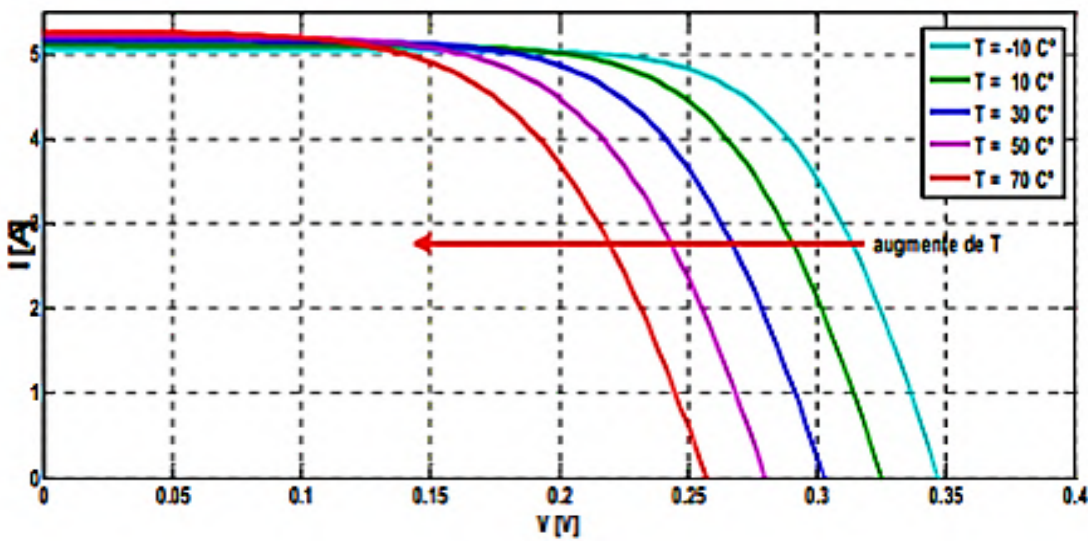
تؤثر شدة هذا الإشعاع بشكل غير مباشر على جهد وتيار الخلية، كون ارتفاع قيمة شدة الإشعاع الشمسي يؤدي إلى ارتفاع حرارة الخلية [32].



الشكل (II-20): تأثير شدة الإشعاع الشمسي على خصائص (P-V) [37].

### II-15-2- تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على جهد وتيار الخلايا الكهروضوئية:

ارتفاع درجة حرارة المحيط الخارجي تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخلية، وهذا ما يؤدي إلى ارتفاع تيار الدارة القصير وانخفاض جهد الدارة المفتوحة للخلية.



الشكل (II-21): تأثير درجة حرارة المحيط الخارجي على خصائص (I-V) [37].

**II-16 - الخاتمة:**

في هذا الفصل تم دراسة تأثير الحرارة و شدة الإشعاع الشمسي على الخصائص الكهربائية للخلايا الكهروضوئية، حيث ارتفاع قيمة شدة الإشعاع الشمسي تؤدي إلى ارتفاع حرارة الخلية، وتيار الدارة القصر يرتفع خطياً مع شدة الإشعاع الشمسي، في حين أن جهد الدارة المفتوحة ينخفض بارتفاع درجة حرارة الخلية، كما أن أداء الخلايا الكهروضوئية يتأثر بعوامل أخرى من بينها الظل وهذا ما سنتعرف عليه في الفصل القادم.



## الفصل الثالث

### الظل وتأثيره على الخلايا الكهروضوئية

**مقدمة:**

من المعلوم أن ضوء الشمس أو الإشعاع الشمسي هو الوقود الأساسي لعمل الخلايا الكهروضوئية، وفي حالة وجود أي عائق أو حاجز (الأوراق المتساقطة، فضلات الطيور، الأشجار، المداخل...) في طريق هذا الضوء أو الإشعاع يسبب في تظليل هذه الخلايا مما يمنع من وصول الإشعاع إلى سطحها [5].

وهذا ما يؤدي إلى خفض القدرة الكهربائية لهذه الخلية وقيمة هذه القدرة تعتمد على حسب حجم وشكل الظل المطبق على الخلية، ويعتبر الظل من أهم العوامل التي ينبغي أن تؤخذ بعين الاعتبار عند بناء المنظومات المعتمدة على تقنيات الخلايا الكهروضوئية.

سوف نتطرق في هذا الفصل إلى دراسة تعريف و أنواع الظل وتأثير هذا الظل على خصائص الخلايا الكهروضوئية، كما سنعرض بعض الدراسات السابقة حول هذا الموضوع.

**III-1 - تعريف تظليل الخلية :**

يقصد به حجب الخلية الكهروضوئية ومنع مرور الإشعاع الشمسي إليها، مهما كانت طبيعته (بناء، الأشجار، الأتربة، بقايا الطيور، الغيوم...) و يُمثل الجزء المخفي من الخلية بمعدل التظليل، ويختلف هذا المعدل من 0% (الخلية بأكملها مضاءة)، 20% (5cm من الخلية مخفي)، 40% (10cm من الخلية مخفي)، 60% (15cm من الخلية مخفي)، 80% (20cm من الخلية مخفي)، 100% (حيث تكون الخلية بأكملها مظلمة) [33].

**III-2 -أنواع الظل :**

❖ **التظليل الجزئي:**

هو التظليل الذي يسمح بمرور جزء من أشعة الشمس للخلية مثل: فضلات الطيور، الأوراق المتساقطة...

❖ **التظليل الكلي:**

يسمى بالتظليل الكامل أو الكلي، بحيث أن الظل يحجب الخلية كلياً ولا يسمح بمرور أشعة الشمس إليها.



III-3- الدراسات السابقة :

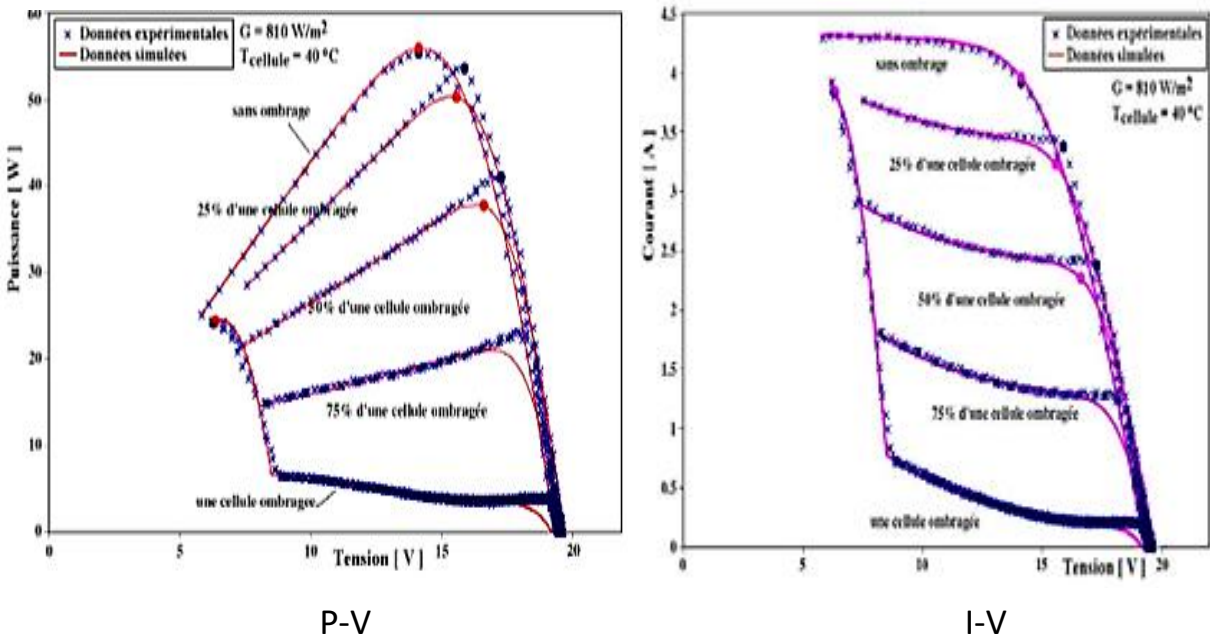
تتأثر الخلايا الكهروضوئية بعدة عوامل تقلل من أدائها ومن قيمة القدرة الخارجة، حيث يعتبر الظل أحد أهم هذه العوامل التي ينبغي مراعاتها عند تصميم المنظومة الفولتضوئية، من الممكن أن يحدث هذا التأثير نقصا واضحا في أداء الخلايا.

سوف نعرض فيما يلي بعض الدراسات العلمية التي تتحدث عن تأثير الظل على أداء الخلايا الكهروضوئية.

1- G.Notton وآخرون [34]:

قاموا بدراسة تأثير التظليل على 36 خلية فوتوفلتية من أحادي التبلور (BP585F)، بنسب تظليل مختلفة من 25% إلى 100% من الخلية (من أصل 36)، حيث تم تقديم نقطة الطاقة القصوى وضياع في الطاقة لكل حالة تظليل بنسبة للخلية ذات ( $T=40^{\circ}C, G=810 W/m^2$ )، النتائج موضحة في الجدول (1-III)، وتم وضع منحنيات الخصائص الكهربائية ( $P, V$ )، ( $I, V$ ) الممثلة في الشكل (1-III).

لوحظ أن تأثير التظليل مهم جداً، حيث أنه في حالة وجود 50% فقط من الخلية مظللة، تنخفض الطاقة بنسبة 25%، وتنخفض ب 57% في حالة الخلية مظلمة بالكامل.



الشكل(1-III): تأثير التظليل بنسب مختلفة على الخصائص (P-V) و (I-V) للخلية

الجدول(III-1): تأثير التظليل بنسب مختلفة على نقطة القدرة القصوى وقدرة الطاقة.

نسبة الضياع في الطاقة	نقطة أقصى قدرة MPP	نسبة الظل علي خلية واحدة (%)
0	55.39	0
3.23	53.60	25
25.93	41.03	50
56.35	24.18	75
56.56	24.06	100

### 2- Pawan Kumar وآخرون [35]:

قاموا بدراسة تجريبية حول تأثير التظليل على خلية متعددة البلورة ( $G=1200\pm 40W/m^2$ ) تم وضع الخلية على حامل ووصلها بأجهزة القياس، من خلال النتائج المتحصل عليها تم تحليل منحنيات الخصائص الكهربائية (I-V) و (P-V)، حيث لاحظ أن قيمة الطاقة في حالة عدم وجود التظليل 78.29%، وفي حالة تظليل خلية واحدة، خليتين ثم 4 خلايا، لاحظ أن الطاقة تنخفض بنسبة (45.29%، 70.659%، 76.39%) على التوالي وفي حالة 9 خلايا الطاقة تنخفض بنسبة 77.66%، وفي حالة استخدام الصمام الثنائي الجانبي لاحظ تحسن في الطاقة عند تظليل خلية واحدة، خليتين ثم 4 خلايا، حيث لاحظ أن الطاقة تنخفض بنسبة (40.95%، 41.63%، 43.1%).

حيث تم توصل إلى أن تقليل الطاقة يعتمد على المنطقة المظلمة، وأن استخدام الصمام الثنائي الجانبي يقلل من تأثير الظل.

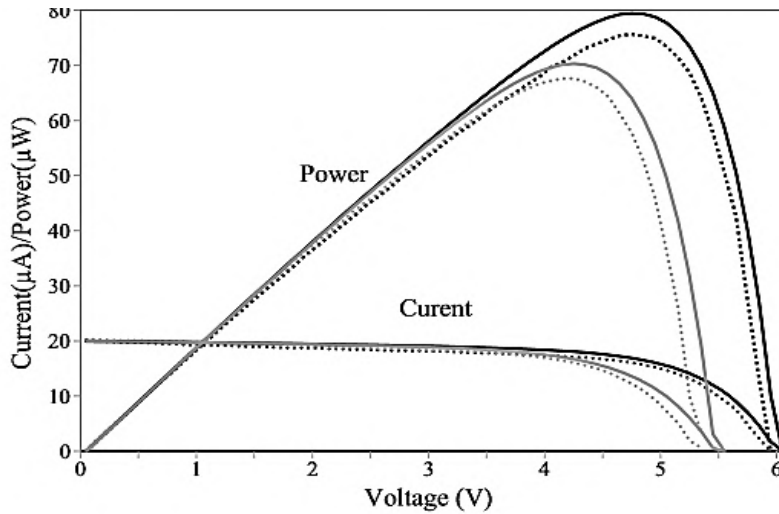
### 3- Joao Paulo وآخرون [36]:

قاموا بدراسة تأثيرات التظليل الجزئي لسلسلة الخلايا الشمسية، حيث قاموا بحساب الخصائص  $P(V)$  و  $I(V)$  لوحدة كهروضوئية تحت درجات حرارة مختلفة ( $25C^\circ$  و  $40C^\circ$ ) ومستويات إضاءة مختلفة، تم الحصول على مجموعة من المنحنيات، تمثل الكفاءة والطاقة والجهد والتيار عند MPP.

تم تقييم ثلاث حالات لسلسلة الخلايا :

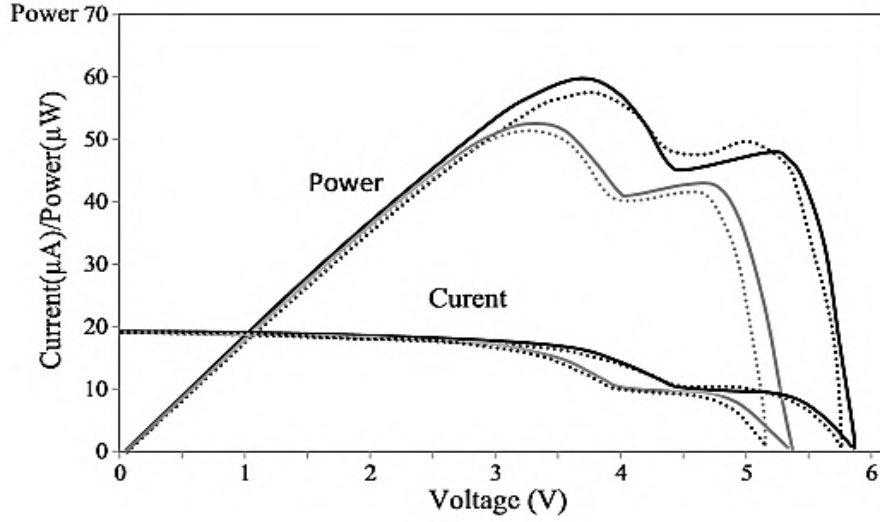
- إضاءة موحدة كاملة (1-1-1-1).
- إضاءة 50% من الخلية الأولى (0.5-1-1-1) .
- إضاءة 50% الخلية الثانية (1-0.5-1-1) .

وتظهر النتائج في الأشكال (2-III)، (3-III)، (4-III)، حيث تمثل الحالة الأولى باللون الأسود عند  $T=40C^{\circ}$ ، والحالة الثانية باللون الرمادي عند  $T=25 C^{\circ}$ . نلاحظ أنه النسبة للشكل (3-III) و(4-III) وجود ذروتين للطاقة MPP كلما كان التظليل موجوداً ( $F < 1$ ) في سلسلة الخلايا الشمسية (حيث أن  $F$  تمثل النسبة بين التيار الضوء المتولد من الخلية المظلمة إلى التيار الضوئي المتولد من الخلية المشعة بالكامل فإذا كانت  $F=0$  فهذا يعني أن الخلية مظلمة بالكامل، وإذا كانت  $F=1$  فإنه يعني أن الخلية مضاءة بالكامل)، تم الإشارة إليها على أنها MPP الأولية والثانوية لطاقة الذروة المقابلة للجهد العالي و الجهد الأصغر على التوالي، بالنسبة لنسب التظليل الصغيرة  $F$  قريب من 1، فإن MPP هي MPP الأولى.

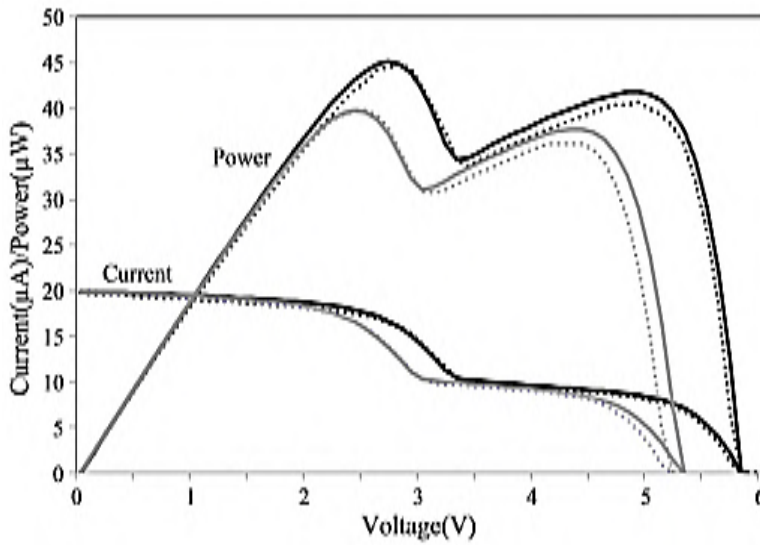


الشكل (2-III): في حالة إضاءة كاملة (1-1-1-1) .





الشكل (3-III): في حالة التظليل الجزئي (0.5-1-1-1).

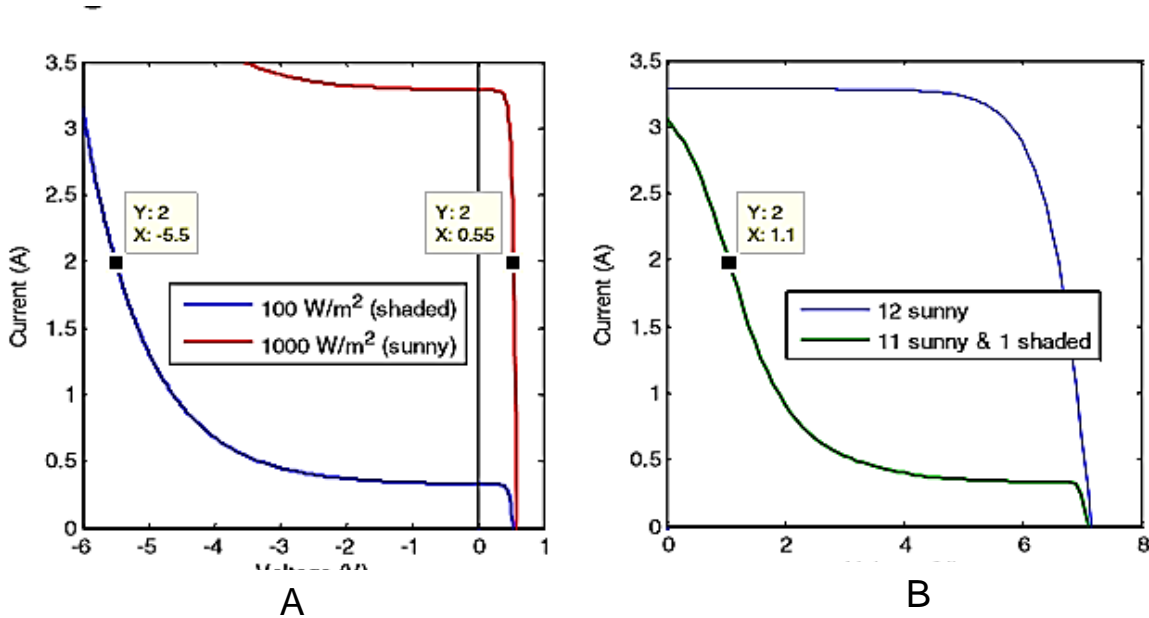


الشكل (4-III): في حالة تظليل (1-0.5-1-1).

E. Díaz-Dorado-4 وآخرون [40]:

عند تعرض الخلايا الكهروضوئية لظل يجب أخذ سلوك الخلية الكهروضوئية في منطقتها العكسية(الجهد السالب) في الاعتبار، نظراً لأن الخلايا الكهروضوئية المظللة يمكن أن تكون منحازة عكسياً، يوضح الشكل (A5-III) أنه بالنسبة لتيار 2A يكون للخلية المشعة بالكامل جهد 0.55V، في حين أن الخلية المظللة لها جهد -5.5 V.

إذا كان الصمام الثنائي الجانبي موازياً لـ 12 خلية كهروضوئية متصلة بالتسلسل، أحدها مظلل فإن جهد المجموعة سيكون 1.1 V (الشكل (B5-III) )، وبالتالي لن يعمل الصمام الثنائي لأنه متحيز عكسياً، على العكس من ذلك بالنسبة لقيم التيار الأكبر من 3A سيكون جهد المجموعة سالباً، وسوف تتدفق التيارات عبر الصمام الثنائي لأنه منحاز للأمام.



الشكل (5-III):تغير منحنيات I(V) لخلايا مظللة و مشعة، (A) خلية واحدة مظللة ومشعة، (B) 11 خلية مشعة و واحدة مظللة.

- تم إجراء سلسلة من التجارب على وحدة كهروضوئية مكونة من 72 خلية موزعة في 6 صفوف من 12 خلية في كل صف، متصلة على التوازي مع الصمام الثنائي الجانبي.

في مصفوفة كهروضوئية غير مظلة تحتوي جميع الوحدات الكهروضوئية على نفس (MMP) ، عندما تكون بعض الوحدات الكهروضوئية مظلة كلياً أو جزئياً، يتغير منحنى (I-V) ، وبالتالي يمكن أن يكون (MMP) لكل وحدة كهروضوئية مختلفة ، و هذا ما يؤدي إلى انتاج خسائر في الطاقة، بحيث أنه لا يتناسب فقدان الطاقة الناتج عن الظلال من الوحدات الكهروضوئية مع مساحة الظل، فقد يكون أعلى من ذلك بكثير.

- تم إجراء تجارب أخرى مماثلة للموجودة في السابق بهدف تحليل سلوك الخلايا الكهروضوئية عند شروق الشمس وغروبها، يوضح الشكل 15 منحنى (I-V) (P-V) لوحدة مظلة بالكامل ، تحتوي هذه الوحدات على 30 صف من الخلايا الكهروضوئية، وبالتالي سيتم حساب 31 حالة:

الحالة 0: لا توجد خلايا مظلة.

الحالة 1: الصف الأول من الخلايا مظلل.

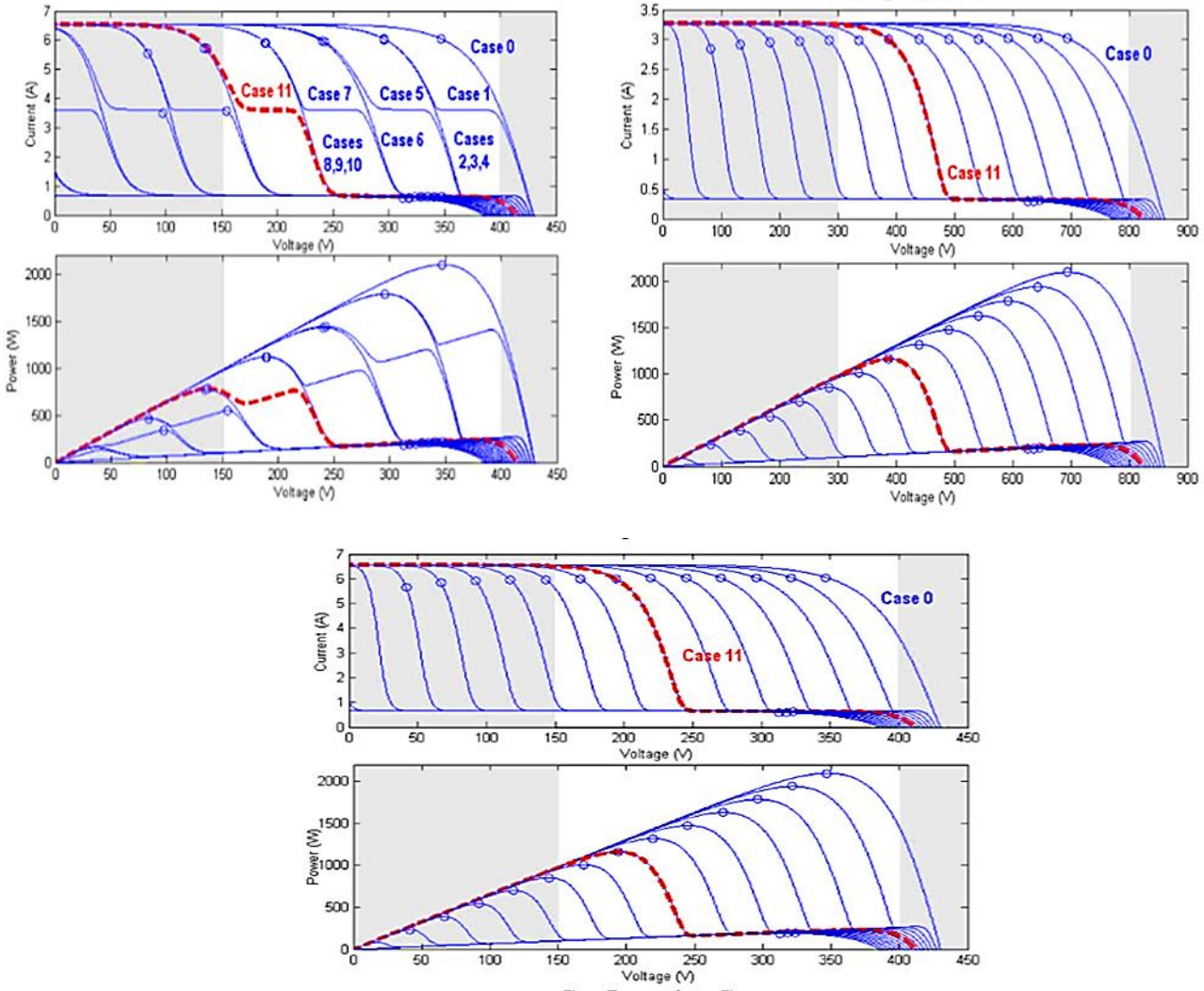
الحالة 2: الصف الأول والثاني من الخلايا مظلان.

...

الحالة 29: كل الصفوف مظلة باستثناء الجزء العلوي.

الحالة 30: جميع الصفوف مظلة.

يتم تمثيل كل حالة من خلال منحنى، توجد منحنيات أقل من عدد الحالات هذا لأن بعض المنحنيات قريبة جداً ولا يمكن تمييزها بوضوح. تعطى المنحنيات المميزة في الشكل (III-6)، حيث تم تظليل الصفوف الأحد عشر الأولى أسفل التثبيت، يمثل الجهد من 300 و إلى 800 (MMP) القصوى لكل حالة.



الشكل (6-III): خصائص I-V و P-V لوحات كهروضوئية مظلة تدريجياً.

5- Alberto Dolara و آخرون [41]:

قاموا بإجراء تجارب على الوحدات الكهروضوئية تحت ظروف تظليل مختلفة، بهدف تسجيل ومقارنة خصائص الجهد و التيار و الاستطاعة التي تم الحصول عليها في ظل ظروف التظليل المختلفة .

تم النظر في حالات التظليل التالية:

✓ خلية واحدة مظلمة تظليلاً رأسياً و أفقياً.

✓ وحدة مظلمة تظليلاً رأسياً و أفقياً و قطرياً.

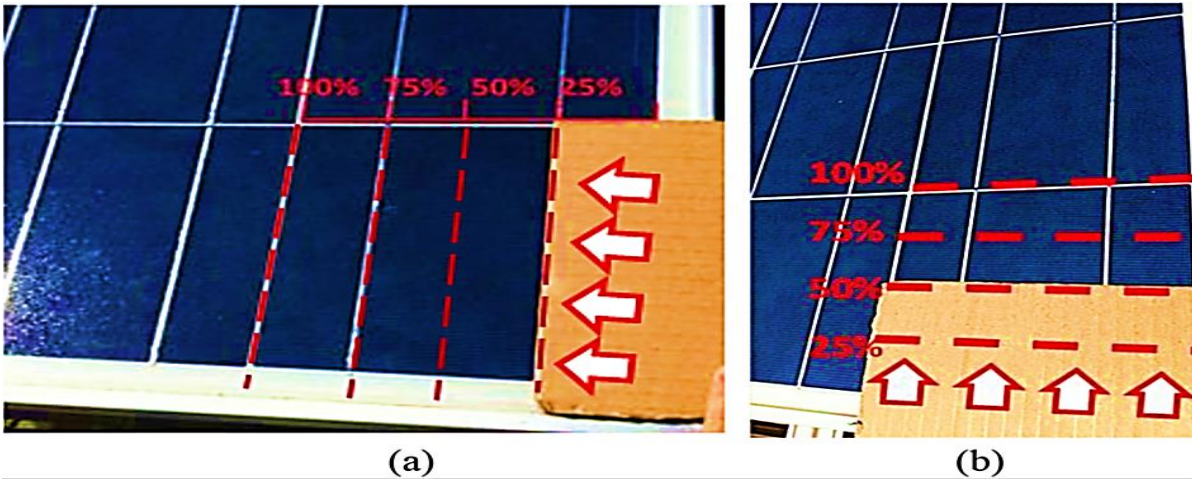
يتم إجراء جملة القياسات على وحدات متعددة البلورات و أحادية البلورة.

❖ الحالة الأولى:

تم إجراء تجريبي لتظليل خلية كهروضوئية متعددة البلورة و أحادية البلورة، بتطبيق طريقتين للتظليل على خلية واحدة:

✓ تظليل خلية من اليمين إلى اليسار، و زيادة المنطقة المظلمة من 0% إلى 100%، كما هو موضح في الشكل (a-III).

✓ تظليل خلية من الأسفل إلى الأعلى، و زيادة المساحة المظلمة من 0% إلى 100%، كما هو موضح في الشكل (b-III).



الشكل (7-III) : طريقة تظليل لخلية واحدة (a) : من اليمين إلى اليسار، (b) من أسفل إلى أعلى.



❖ الحالة الثانية:

تم إجراء تجريبي لتظليل وحدة كهروضوئية للنوعين متعددة البلورة و أحادية البلورة، بتطبيق 3 طرق  
تظليل على الوحدة الكهروضوئية:

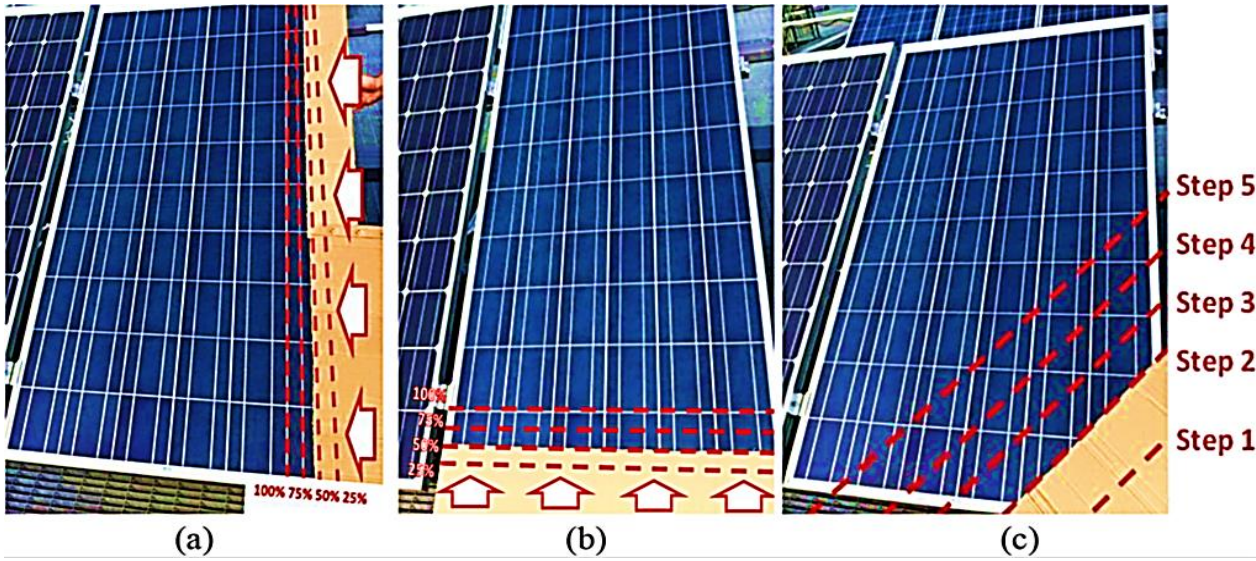
✓ تظليل أفقي وزيادة المنطقة المظللة من 0% إلى 100% كما هو موضح في الشكل (a8-III).

✓ تظليل عمودي و زيادة المنطقة المظللة من 0% إلى 100% كما هو موضح في الشكل

(b8-III).

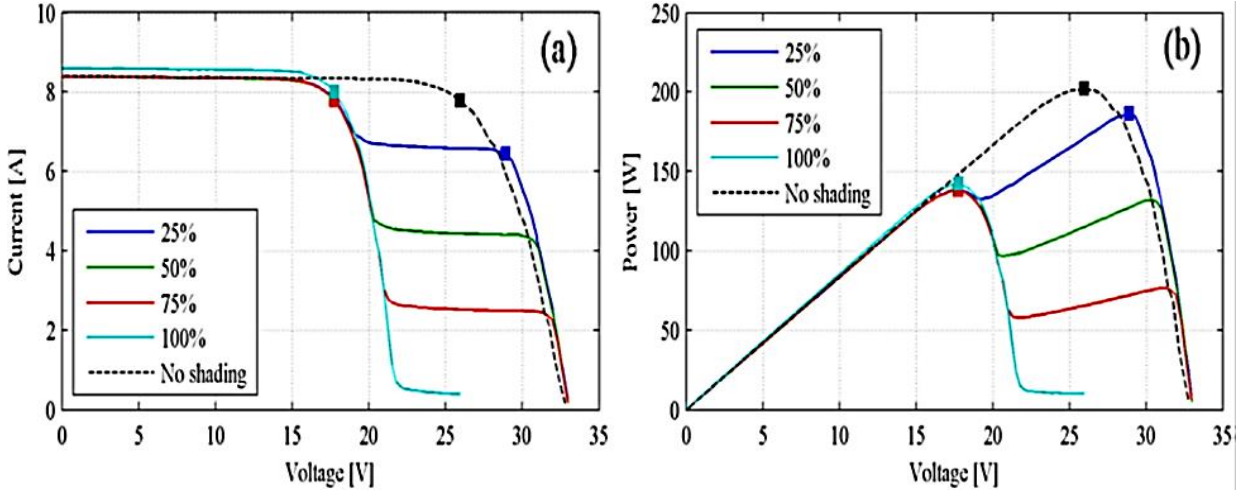
✓ تظليل قطري و زيادة المنطقة المظللة من الخطوة 0 إلى الخطوة 5 كما هو موضح في الشكل

(c8-III).

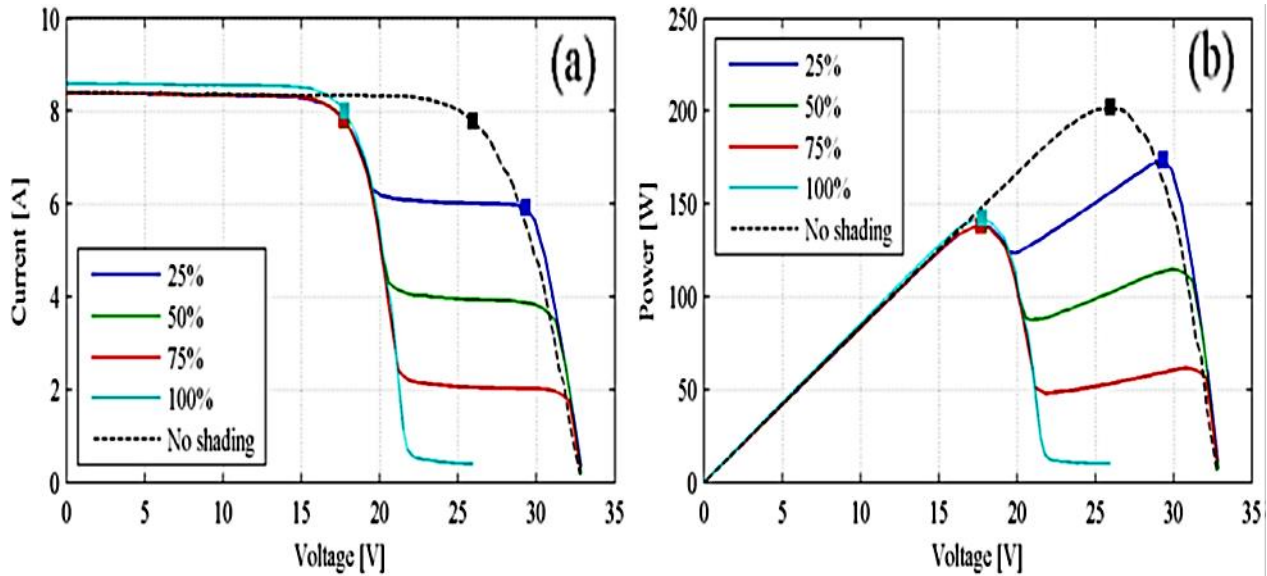


الشكل (8-III): طرق تظليل لوحدة كهروضوئية: (a) طريقة التظليل العمودي، (b) طريقة التظليل الأفقي، (c) عملية التظليل القطري.

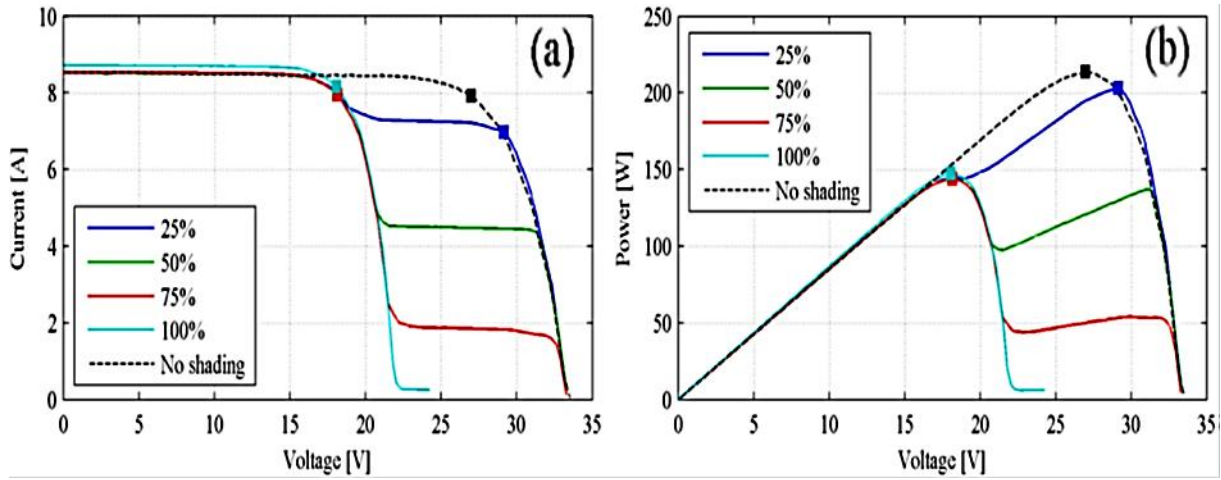
تم تسجيل منحنيات الجهد و الاستطاعة لكل حالة من حالات التظليل المدروسة (حالة تظليل خلية واحدة أفقيا وعموديا ومن اليمين إلى اليسار، و حالة تظليل وحدة كهروضوئية أفقيا وعموديا وقطريا)، للوحدات المتعددة وأحادية البلورة، و النتائج المتحصل عليها موضحة في الأشكال التالية:



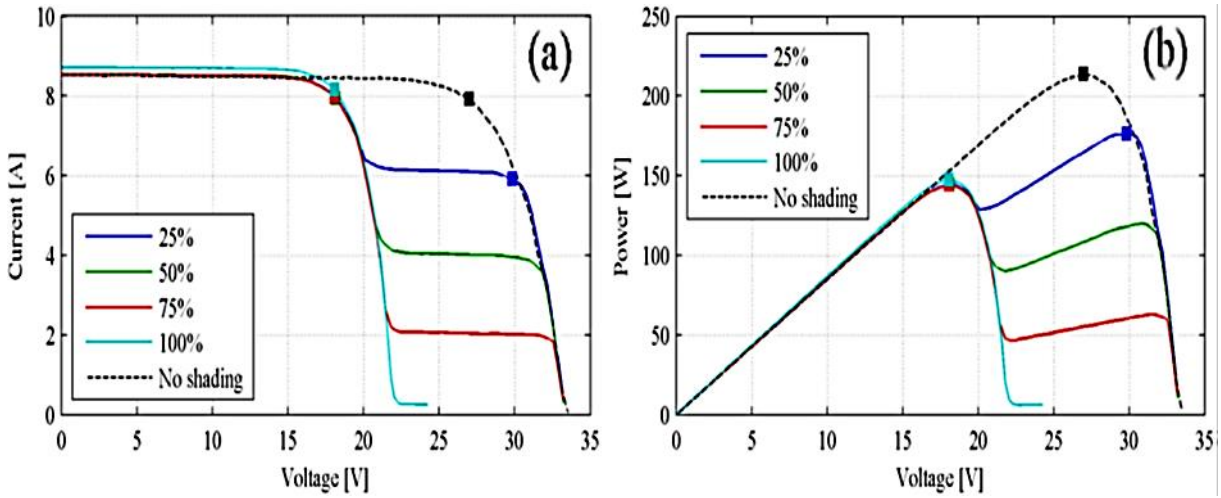
الشكل (9-III): خصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات طريقة التظليل أحادي الخلية من اليمين إلى اليسار.



الشكل (10-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لطريقة التظليل أحادي الخلية من الأعلى إلى الأسفل.

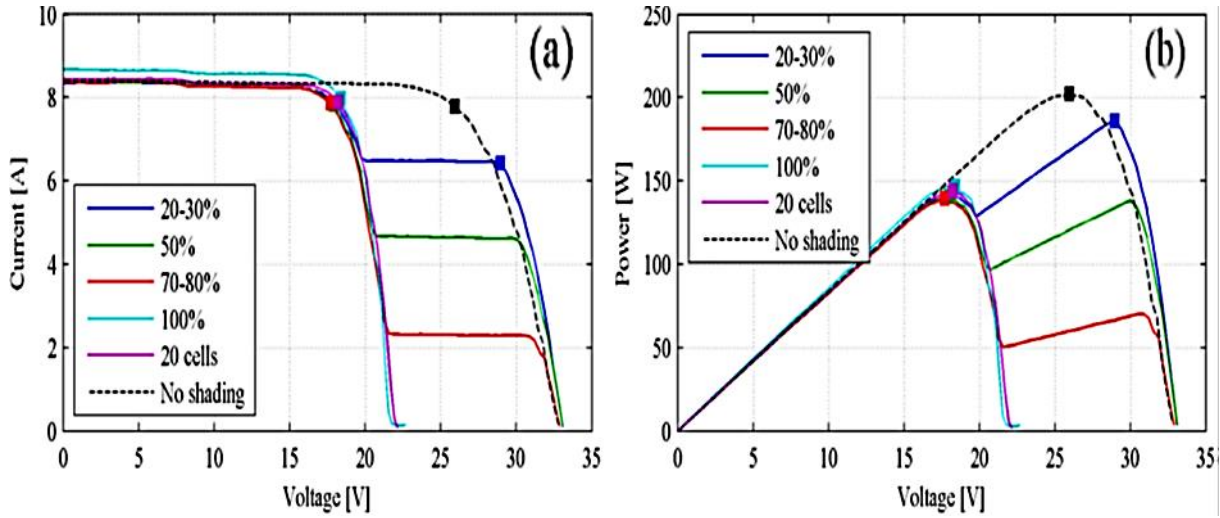


الشكل (11-III): خصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات أحادية البلورة لطريقة التظليل أحادي الخلية من اليمين إلى اليسار.

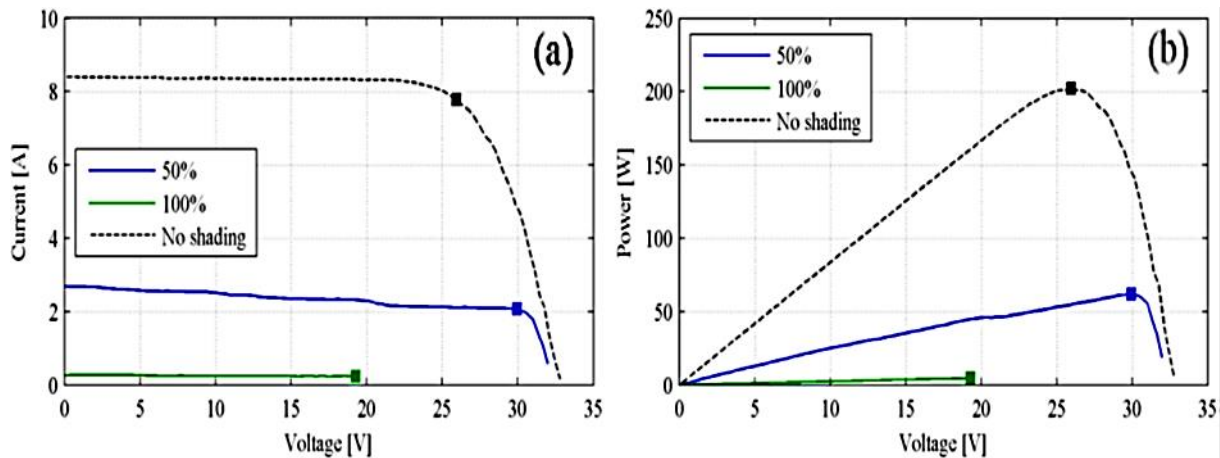


الشكل (12-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات أحادية البلورة لطريقة التظليل أحادي الخلية من الأعلى إلى الأسفل.

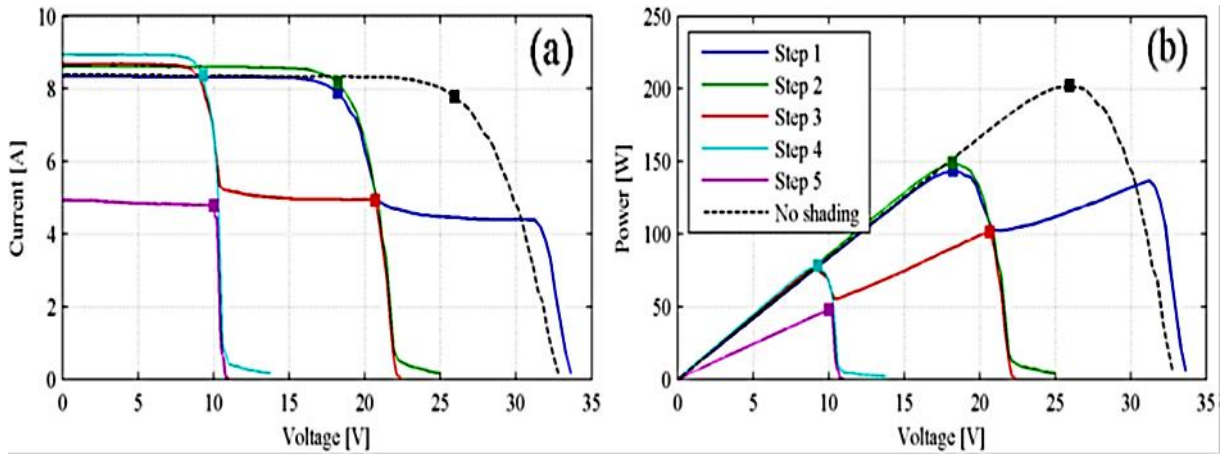




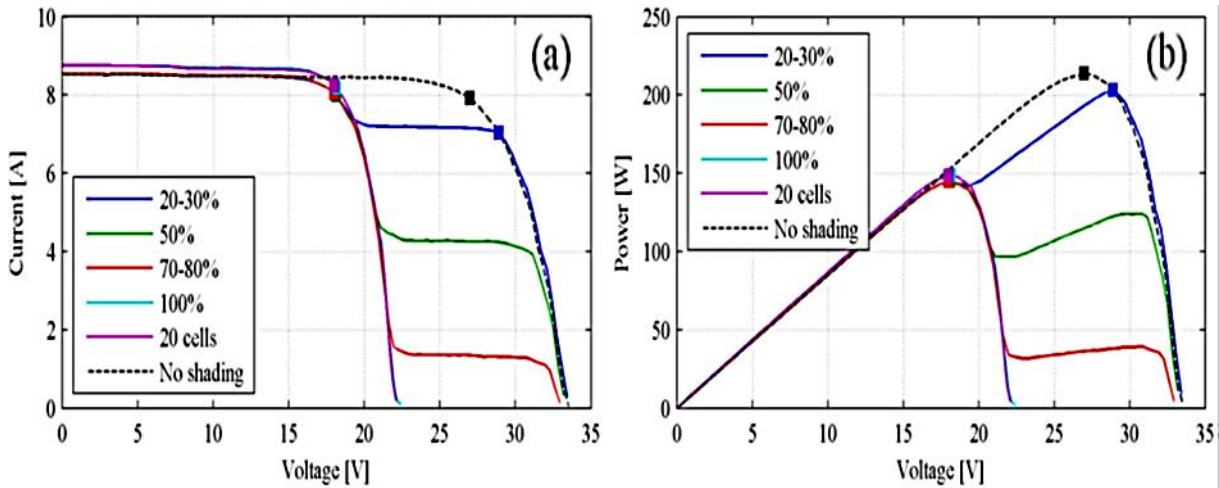
الشكل (13-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لطريقة التظليل عمودياً.



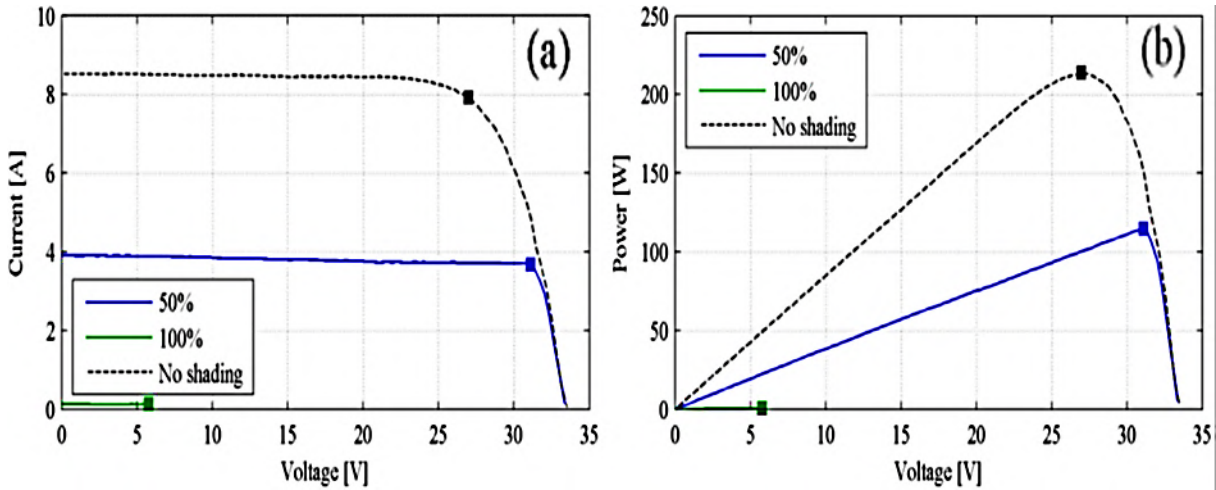
الشكل (14-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لطريقة التظليل الأفقي.



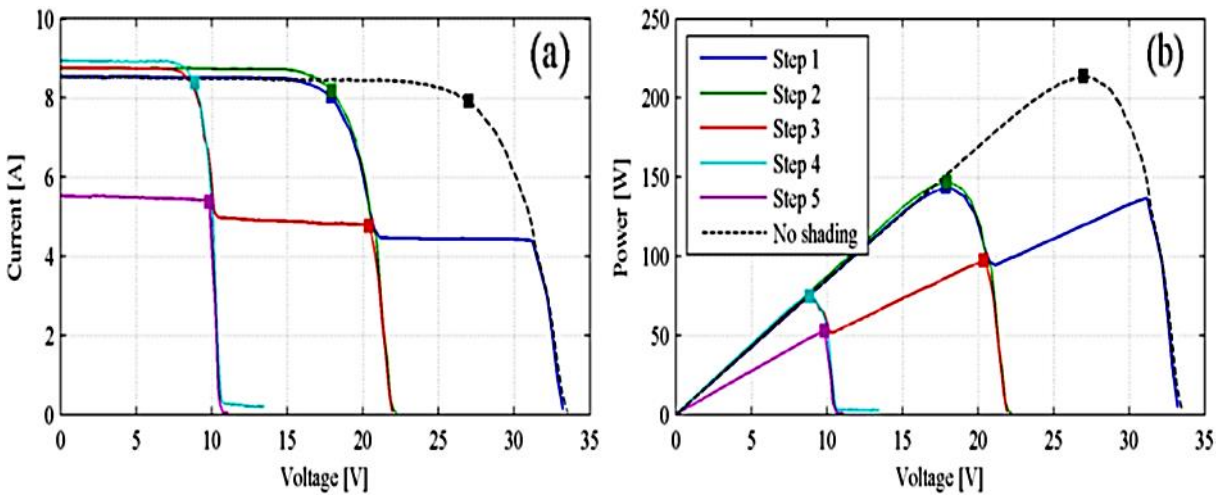
الشكل (15-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات متعددة البلورات لعملية التظليل تقريبًا.



الشكل (16-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات أحادية البلورية لطريقة التظليل عموديًا.



الشكل (17-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات أحادية البلورة التظليل أفقيًا.



الشكل (18-III): الخصائص (I-V) و (P-V) المسجلة للوحدات أحادية البلورة لعملية التظليل قطريًا

أظهرت النتائج المتحصل عليها أن التيار المتولد يتناقص بزيادة معدل التظليل، حيث تختلف معدلات التظليل بين 0% و100%، تشير النتائج التجريبية إلى أنه من خلال تظليل 50% من خلية واحدة يتم تقليل إنتاج الطاقة للوحدة الكهروضوئية بأكثر من 30%، تحدد أشكال التظليل العمودية والأفقية والقطرية المطبقة على الوحدة الكهروضوئية نتائج مماثلة لتلك التي تم الحصول عليها عن طريق تظليل خلية واحدة.

6- عتيق مراد [33]:

في دراسة أخرى في جامعة سطيف تم دراسة تأثير التظليل على الخصائص المميزة للخلايا (تيار الدارة القصر  $I_{CC}$ ، جهد الدارة المفتوحة  $V_{CO}$ ، نقطة القدرة العظمى  $MPP$ ، كفاءة الخلية  $\eta$ ، معامل الشكل  $FF$ ) حيث تم تظليل خلية واحدة بنسب مختلفة.

النتائج المتحصل عليها موضحة في الجدول التالي :

الجدول (III-2): قيم ( $V_{CO}$ )، ( $I_{CC}$ )، ( $MPP$ )، ( $FF$ )، ( $\eta$ ) بدلالة معدل التظليل للخلية.

نسب التظليل (%)	0	20	40	60	80	100
مساحة الخلية المظللة ( $cm^2$ )	0	5	10	15	20	25
$I_{CC}(A)$	0.514	0.511	0.509	0.508	0.511	0.509
$V_{CO}(V)$	24.088	24.330	24.336	24.31	24.287	24.030
$MPP(Watt)$	8.673	8.466	7.477	7.349	7.290	7.161
(%) ضياع في الطاقة	0	2.38	13.79	15.27	15.95	17.43
$FF(\%)$	70.054	68.102	60.367	59.509	58.742	58.552
$\eta(\%)$	9.637	9.407	8.308	8.166	8.100	7.957

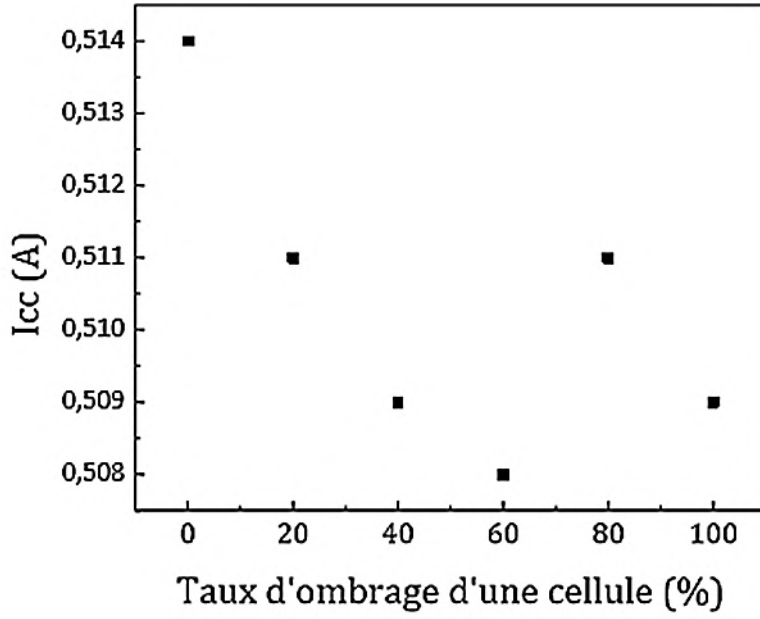
تحليل نتائج الجدول:

❖ تيار الدارة القصر:

نلاحظ من خلال المنحنى أن تيار الدارة القصر يتناقص بزيادة المساحة المظللة، حيث يتناقص من 0.514 إلى 0.508 بنسبة 1% من قيمته الأولية.

وبما أن الخلايا متصلة على التسلسل سيتم إجبار هذه الخلايا على العمل في نفس التيار مما يؤدي إلى تحيز العكسي للخلية المظللة.

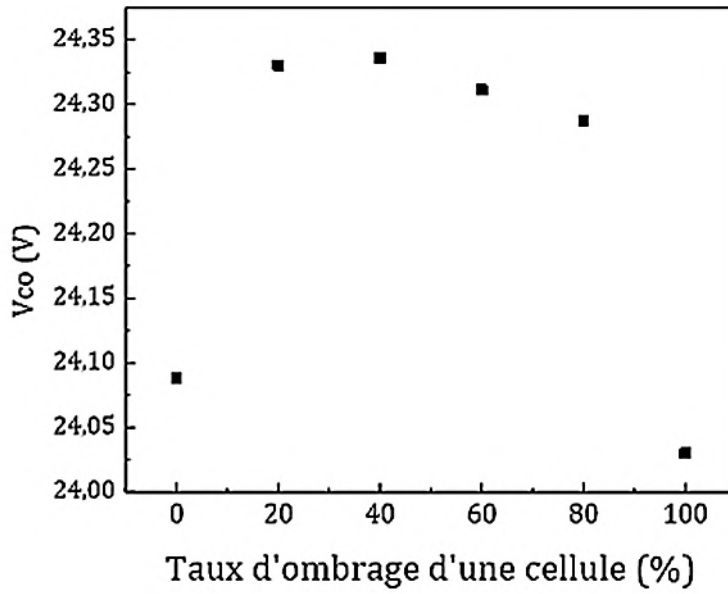
نتيجة لذلك سيتأثر تيار الخلايا بشكل مباشر بزيادة معدل التظليل، ولن تساهم الخلية المظللة بإنتاج التيار على العكس من ذلك فإنها تبديد الطاقة المتولدة من الخلايا السليمة الأخرى (الخلايا لغير معرضة لظل).



الشكل (III-19): تغير تيار الدارة القصر بدلالة معدل التظليل.

#### ❖ جهد الدارة المفتوحة:

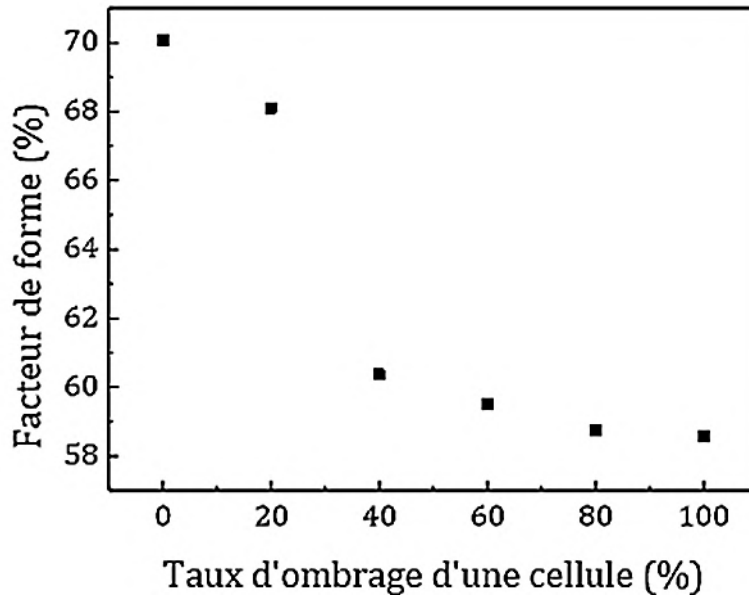
يتزايد الجهد بحوالي 1% عند تظليل 10cm<sup>2</sup> من الخلية، مع زيادة التظليل ينخفض الجهد لأن الجزء لغير معرض لظل يتم تجاوزه بواسطة الجزء المظلل. بسبب التظليل ارتفاع درجة حرارة الخلية المظلمة وهذا ما يؤدي إلى انخفاض الجهد.



الشكل (III-20): تغير جهد الدارة المفتوحة بدلالة معدل تظليل.

❖ معامل الشكل:

يتناقص معامل الشكل مع زيادة معدل التظليل، وهذا التناقص راجع إلى تناقص في قيم الجهد والتيار.

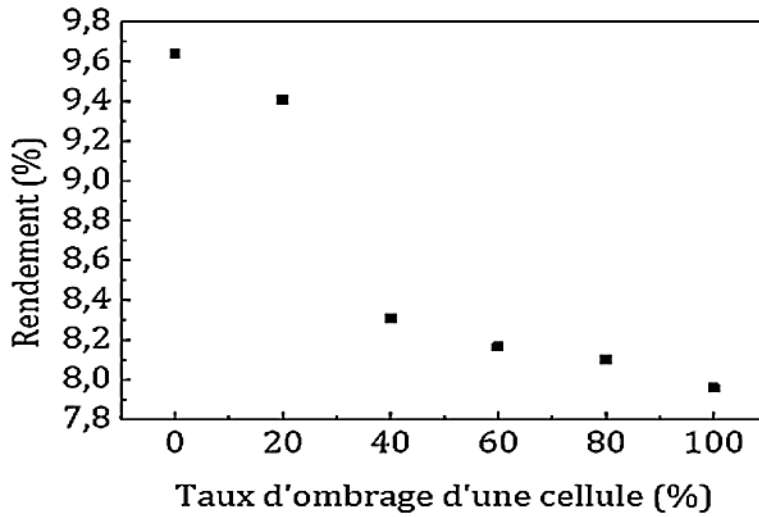


الشكل (III-21): تغير معامل الشكل بدلالة معدل تظليل.

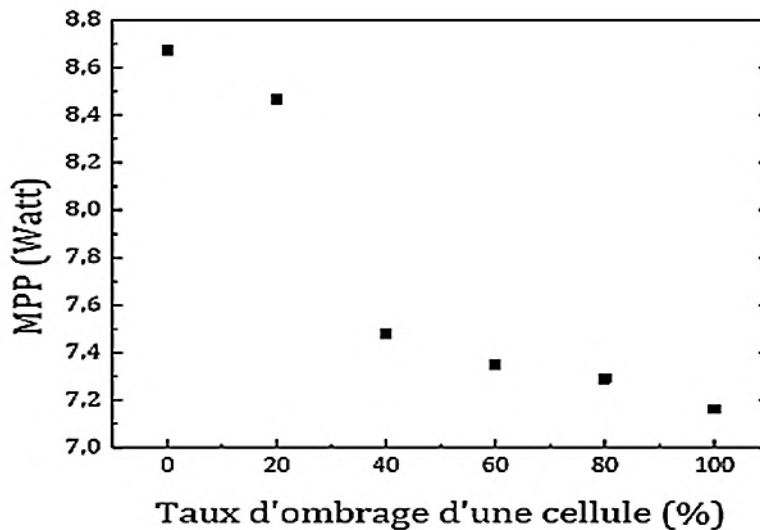


❖ الكفاءة و الاستطاعة العظمى:

يمثل الشكل (22-III) و (23-III) على التوالي تغير الاستطاعة العظمى والكفاءة بدلالة معدل التظليل، نلاحظ تناقص الاستطاعة العظمى بزيادة معدل التظليل، حيث تخضع لانخفاض قدره 17.43% من قيمتها الأولية لتظليل 25 cm<sup>2</sup> من سطحه، و يؤدي هذا الانخفاض إلى خفض كفاءة الخلية.



الشكل (22-III): تغير كفاءة الخلية بدلالة معدل تظليل.

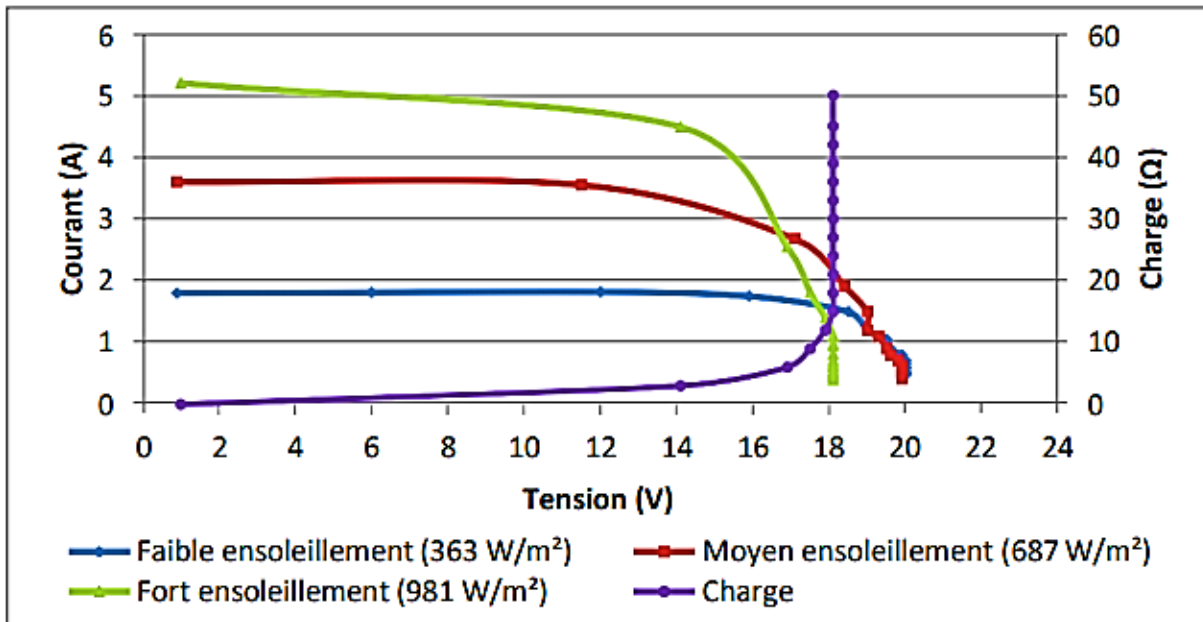


الشكل (23-III): تغير الاستطاعة العظمى بدلالة معدل التظليل.

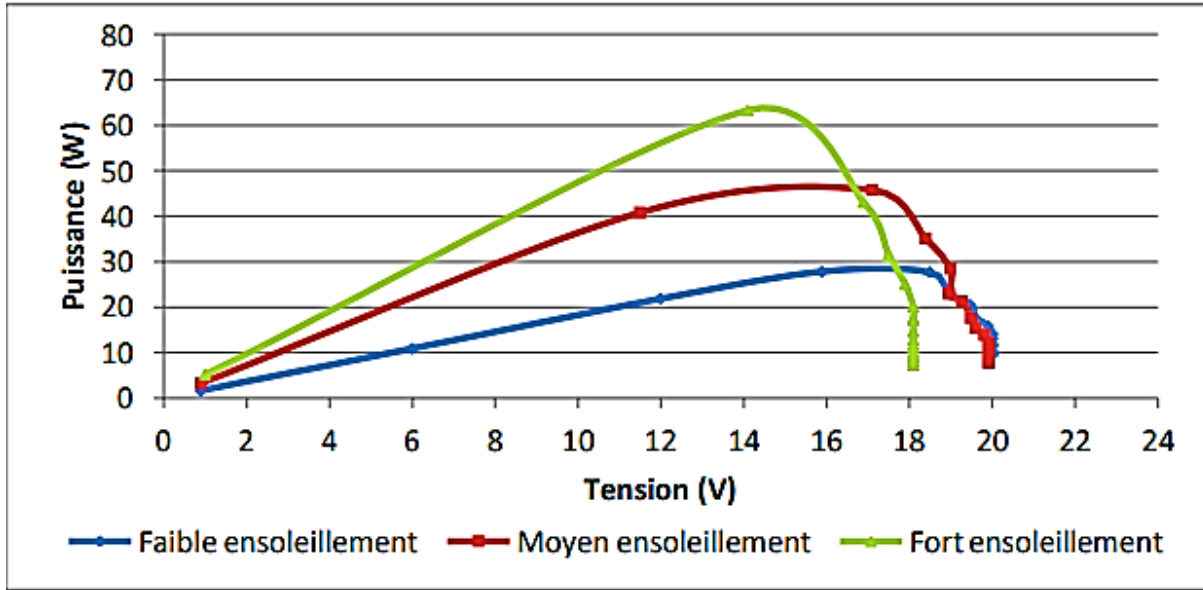
يمكن استنتاج من خلال النتائج المتحصل عليها أنه عند تعرض الخلايا لظل فإن اللوح لا يتلقى الكمية اللازمة من الإشعاع الشمسي، وهذا ما يؤدي إلى خفض الاستطاعة العظمى وقيمة هذه الاستطاعة تتأثر نسبياً مع حجم وشكل الظل المتكون على سطح اللوح الشمسي بحيث تتناقص بزيادة المساحة المظللة، وأن تيار الدارة القصر يتأثر خطياً مع المساحة المظللة.

#### 7- عقال محمود و مقيدش ياسين [42]:

في دراسة تجريبية تم إجراؤها في جامعة البويرة، حيث قاموا في هذه التجربة بدراسة تأثير التظليل (الكلي، الجزئي، العشوائي) على الخلايا الكهروضوئية، بمعدلات تظليل مختلفة، أولاً تم دراسة سلوك الخلايا دون تظليل بالنسبة لشدة إشعاع (منخفضة، متوسطة، قوية)، تعطى النتائج المتحصل عليها في الشكل (III-24) و (III-25).



الشكل (III-24): الخصائص الكهربائية ل I(V).



الشكل (III-25): الخصائص الكهربائية ل P(V).

لوحظ أن تيار الدارة القصر يتناسب مع شدة الإشعاع الشمسي، بينما يتغير جهد الدارة المفتوحة قليلاً مما يولد تناسب في مستوى الطاقة.

❖ في حالة التظليل الكلي:

تم وضع عائق لمنع إي إشعاع مباشر أو غير مباشر من الوصول إلى سطح الخلايا اعتماداً على معدل التظليل المطلوب، لمستويات مختلفة من أشعة الشمس، في هذه التجربة ستم دراسة خمس حالات تظليل كما هو مبين في الجدول (III-3)، ويوضح الشكل (III-26) المخطط المعتمد لهذه التجربة.

الجدول (III-3): حالات التظليل بمعدلات مختلفة.

الحالة	معدل التظليل على الخلايا الكهروضوئية
0	بدون تظليل
1	تظليل 25% من الخلايا.
2	تظليل 50% من الخلايا.
3	تظليل 75% من الخلايا.
4	تظليل 100% من الخلايا.

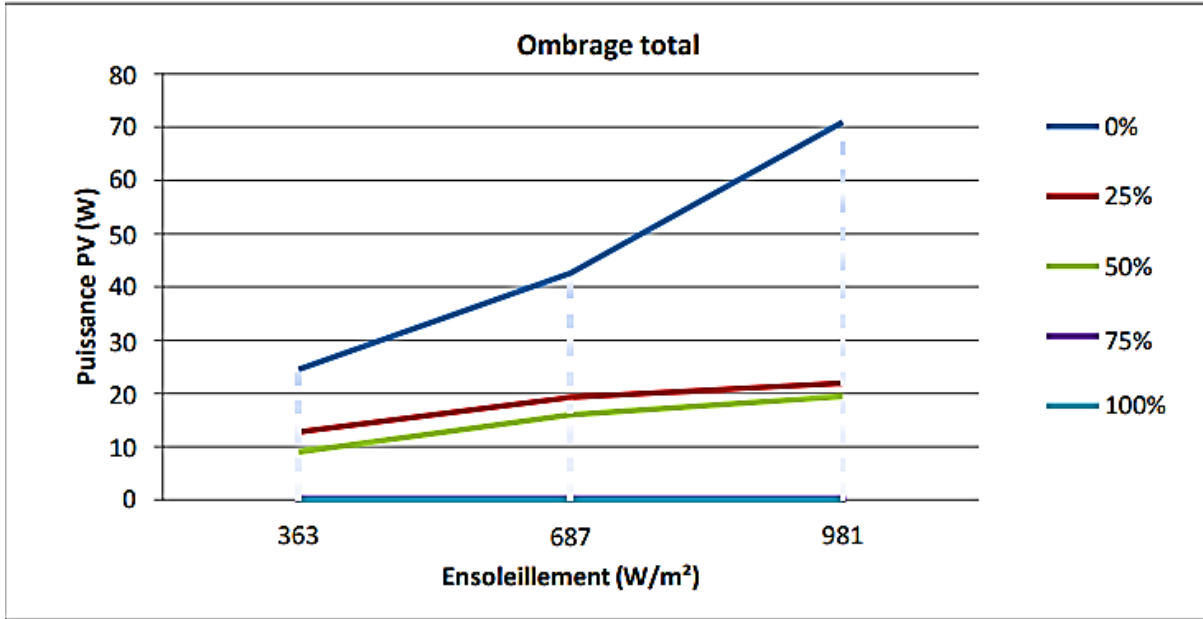


الحالة 3

الحالة 2

الشكل (III-26): حالات تظليل على الخلايا الكهروضوئية.

يمثل الرسم البياني في الشكل (III-27) تغير طاقة الخلايا الكهروضوئية بدلالة أشعة شمس، لمعدلات تظليل مختلفة (0%، 25%، 50%، 75%، 100%).



الشكل (III-27): طاقة الخلايا الكهروضوئية بدلالة أشعة الشمس لمعدلات تظليل مختلفة.

توضح النتائج السابقة أن أداء الخلايا الكهروضوئية يعتمد بشكل أساسي على معدل التظليل وبالتالي على مستوى الإضاءة المستقبلية.

#### ❖ في حالة التظليل الجزئي:

تم دراسة تأثير التظليل الجزئي على الخلايا، وذلك بوضع جهاز فوق خلية واحدة حتى يمنع وصول ضوء الشمس المباشر إلى سطحها بنسبة لمستويات مختلفة من أشعة الشمس (منخفضة، متوسطة، قوية)، ووفقاً لمعدلات تظليل مختلفة (0%، 25%، 50%، 75%، 100%)، في هذه التجربة سيتم دراسة خمس حالات كما هو مبين في جدول (III-4).

الجدول (4-III): حالات تظليل على خلية واحدة.

الحالة	معدل التظليل على الخلايا الكهروضوئية
0	بدون تظليل
A	تظليل 25% من الخلايا.
B	تظليل 50% من الخلايا.
C	تظليل 75% من الخلايا.
D	تظليل 100% من الخلايا.

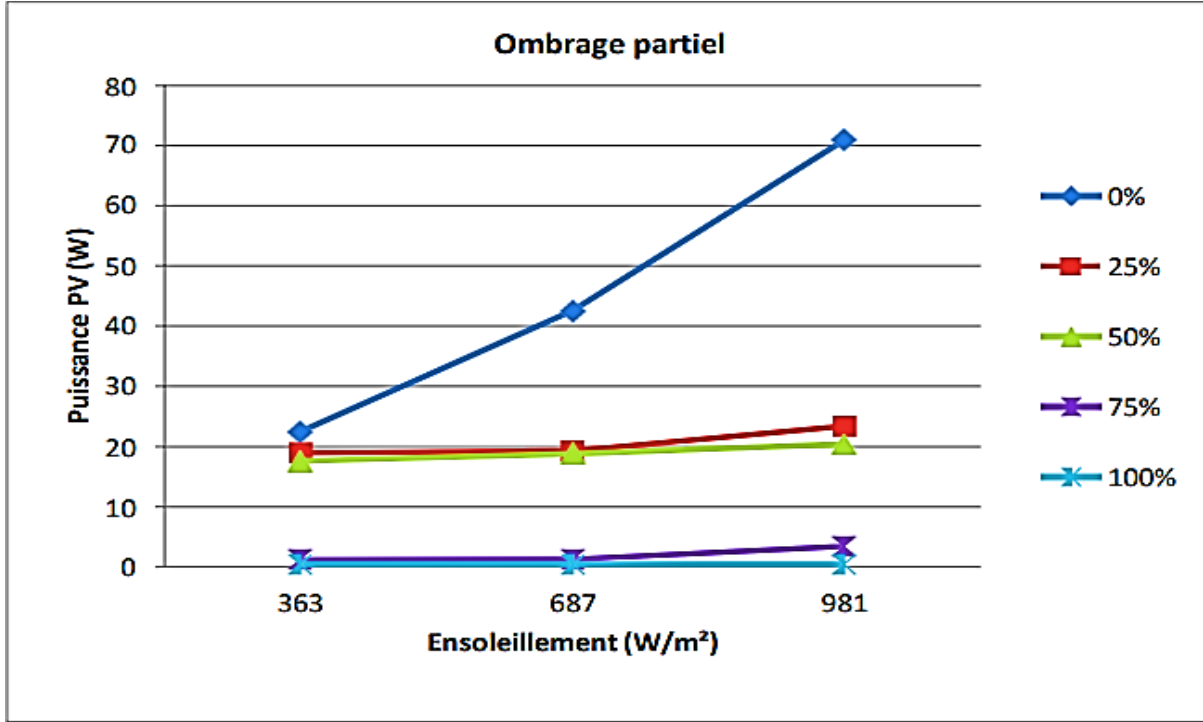


الحالة B

الحالة C

الشكل (III-28): حالات التظليل الجزئي.

يعطي الرسم البياني في الشكل (III-29) والذي يمثل طاقة الخلايا الكهروضوئية بدلالة أشعة الشمس، لمعدل تظليل مختلف.



الشكل (III-29): تغير الاستطاعة بدلالة أشعة الشمس لمعدلات تظليل

بينت النتائج التي تم الحصول عليها أن الطاقة تعتمد أيضاً على عاملين هما معدل الإضاءة و الظل، وهذا يوضح أن الخلية التي تتلقى أقل كمية من الضوء وجدت أنها تبدد جزءاً من الطاقة التي ينتجها باقي الضوء، و كلما زاد التظليل زادت الطاقة المشتتة مما أدى إلى انخفاض خرج الطاقة.

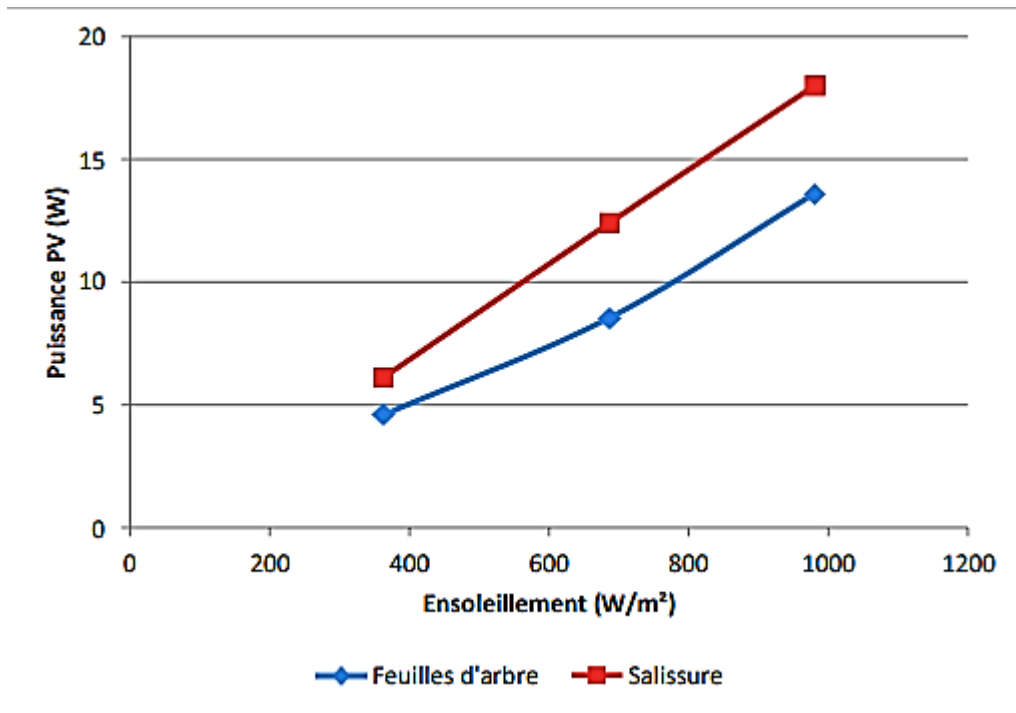
#### ❖ في حالة التظليل العشوائي:

في هذا الجزء الثالث من التجربة ولأنواع الوحدات نفسها المستخدمة سابقاً، تم دراسة تأثير التظليل العشوائي على الوحدات الكهروضوئية، حيث تم دراسة عاملين يمكن أن يتسببان في هذا النوع من الظل: التراب و أوراق الشجر، في هذه التجربة أجريت الدراسة تحت نفس الظروف الخارجية ولإضاءة مختلفة (ضوء شمس منخفض ، متوسط ، قوي) وهذا من أجل الحصول على تأثير التظليل العشوائي على الطاقة التي توفرها الخلية الكهروضوئية. يوضح الشكل (III-30) التظليل بالأوساخ وأوراق الشجر.





الشكل (III-30): التظليل بأوراق الشجر و التراب.



الشكل (III-31): تغير الاستطاعة في حالة التظليل بتراب و أوراق الشجر.

يمكن أن تؤثر العديد من العناصر على أداء وكفاءة الخلايا الكهروضوئية، هذا ما يؤدي إلى انخفاض في الأداء الكهربائي وفقدان كبير في الطاقة، أظهرت النتائج أن تأثير أوراق الشجر على الخلايا الكهروضوئية أكبر من تأثير الأوساخ في حالة الظل الناجم عن ضعف أوراق الشجر.

8-تاتي مريم وبسملة رجاء [37]:

قامت الطالبتين بدراسة تأثير التظليل على الخلايا الكهروضوئية، تمت التجربة في جامعة قاصدي مرباح ورقلة، قاموا بتظليل الألواح الشمسية بواسطة ورق كرتوني عاتم، بحيث يتم تغير عدد الأجزاء المظلة في كل قياس ودراسة تأثير الظل على أداء الألواح الشمسية وذلك من خلال تتبع المراحل الآتية :

- تم تنظيف اللوح الشمسي الذي أخذ كمرجع، ثم أخذت القياسات بالنسبة للحالة العادية.
- يتم التظليل كما هو موضح في الشكل (III-31)، بتغير عدد الأجزاء المظلة على الترتيب

( الجزء 1، 3 أجزاء، 6 أجزاء، 9 أجزاء) بعد أخذ القياسات في كل حالة.

النتائج المتحصل عليها من خلال التجربة تم توضيحها في المنحنيات (1) و(2)، من الشكل (III-6)، والذي يمثل تأثير التظليل على الخصائص الكهربائية (P-V) و (I-V) للوح الشمسي، بحيث نلاحظ وجود اختلاف كبير في القيم المسجلة في الحالة العادية والمظلة، من خلال المنحنى (1) الذي يمثل تغير شدة التيار بدلالة الجهد تم تسجيل انخفاض كبير في تيار دائرة القصر حيث كانت (2.19A ، 0.82A ، 0.20 A ، 0.18 A)، مع عدد الأجزاء المظلة (1،3،6،9) على التوالي، أي أن الانخفاض في تيار دارة القصر يزيد بزيادة المساحة المظلة من اللوح الشمسي. بينما نلاحظ أن التظليل يؤثر بشكل قليل على جهد اللوح الشمسي.

و نلاحظ من خلال منحنى (P-V) تغير كبير في قيم الاستطاعة العظمى بحيث تتناقص بسرعة مع زيادة مساحة التظليل من 68.23W إلى (1.02W , 2.67W , 4.29W , 6.81W) حسب عدد الأجزاء المظلة (1،3،6،9) على التوالي، وبالتالي يعمل التظليل على حجب الخلية الشمسية ومنع مرور الإشعاع الشمسي إليها مما يزيد من نسبة انخفاض الطاقة المنتجة كلما زادت مساحة التظليل.

تم استنتاج أنه في حالة وجود تظليل على الألواح الشمسية، فإن اللوح لا يتلقى الكمية اللازمة من الإشعاع الشمسي، مما يتسبب في تشويه منحنيات الخصائص الكهربائية (P-V) و (I-V) وهذا ما يؤدي إلى تقليص المساحة المعرضة للإشعاع الشمسي و حدوث فقدان كبير للطاقة.



تظليل ثلاثة خلايا.



تظليل جزء واحد.

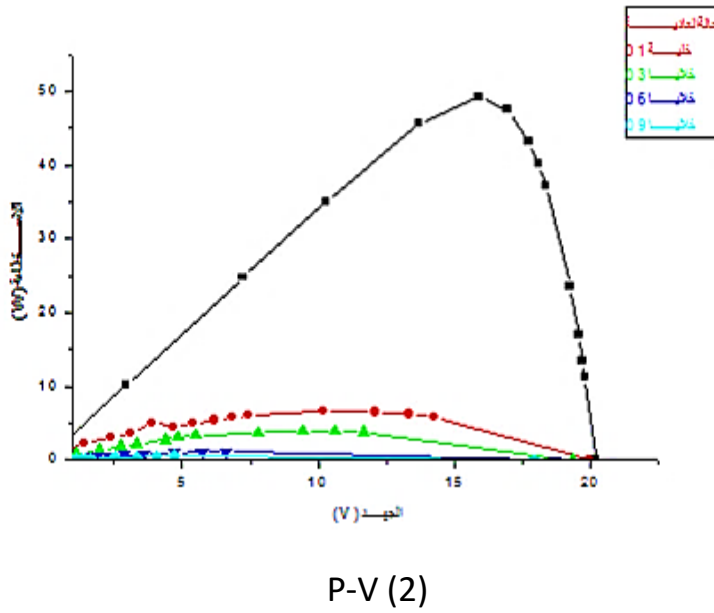
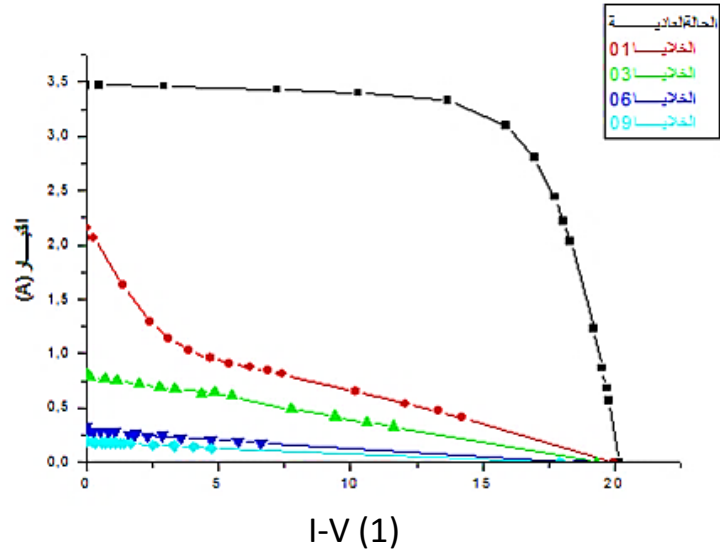


تظليل تسعة خلايا.



تظليل ستة خلايا.

الشكل (III-32): كيفية التظليل.



الشكل (III-33): تأثير التظليل على الخصائص الكهربائية (P-V) و (I-V) للوح الشمسي .

4-III مقارنة الدراسات السابقة :

بعد الاطلاع على بعض دراسات السنوات الماضية حول تأثير الظل على الخصائص الكهربائية للخلايا الكهروضوئية، قمنا بمقارنة النتائج المتحصل عليها في الجدول التالي:

الجدول(III-5) : ملخص أهم النتائج المتوصل إليها من الدراسات السابقة.

الدراسات	شروط التجربة	نوع الخلية	نوع التظليل	النتائج
G.Notton-1 وآخرون(2010)	T(C°)=40 G=810W/m <sup>2</sup>	أحادي البلورة	تظليل خلية واحدة %25-%100	-50%مظلل_25%ضياح فألطانة -100%مظلل_57%ضياح فألطانة
Pawan -2 Kumar وآخرون(2012)	G=1200±40W /m <sup>2</sup>	متعددة البلورة	تظليل كلي لخلية، خليتين، 4 خلايا، 9 خلايا	-خلية مظلة_45.29% ضياح فألطانة -2خلية مظلة_70.65% ضياح فألطانة -4خلايا مظلة_76.39% ضياح فألطانة -9خلايا مظلة_77.66% ضياح فألطانة
Alberto-5 و Dolara آخرون(2013)	G=1000W/m <sup>2</sup>	أحادي البلورة	تظليل خلية واحدة %25_%100	50%مظلل_ أكثر من 30% ضياح فألطانة
6- عتيق مراد (2013)		خلايا من نوع CGIS	تظليل كلي من %0_%100	50%مظلل_ 14.53% ضياح فألطانة - 100%مظلل_ 17.43% ضياح فألطانة
7- عقال محمود ومقيديش ياسين (2018)	G=810W/m <sup>2</sup>	متعددة البلورة	تظليل كلي وجزئي من 0%_100%	-تظليل كلي P <sub>50%</sub> =10w P <sub>100%</sub> =0 w -تظليل جزئي P <sub>50%</sub> =18w P <sub>100%</sub> =0 w
8- تاتي مريم وبسمة رجاء(2019)		متعددة البلورة	تظليل كلي لخلية، 3 خلايا، 6 خلايا، 9 خلايا	- بدون تظليل_ 68.23 W - خلية مظلة_ 6.81 W - 3خلية مظلة_ 4.29 W - 6 خلية مظلة_ 2.67 W - 9 خلية مظلة_ 1.02 W

من خلال هذه الدراسة النظرية نستطيع القول أن ضياع في الطاقة لا يعتمد فقط على المنطقة المظللة، أما يمكن القول أنه يعتمد أيضا على نوع الخلية، حيث أنه في حالة تظليل خلية من نوع CGIS (هي عبارة عن شبه موصل يستخدم في تصنيع الخلية له القدرة على امتصاص كمية كبيرة من الإشعاع الشمسي) كان ضياع في الطاقة أقل من أنواع الخلايا الأخرى، وبتزايد هذا الضياع بزيادة عدد الخلايا المظللة (معدل التظليل)، حيث يرجع انخفاض هذه الطاقة إلى الإنخفاض في التيار و الجهد، مما يؤدي إلى انخفاض الكفاءة و معامل الشكل.

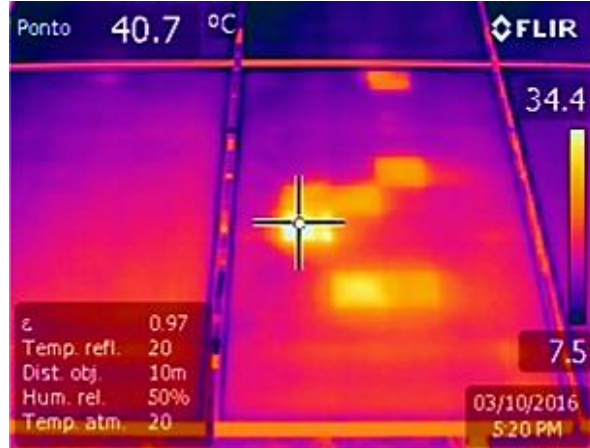
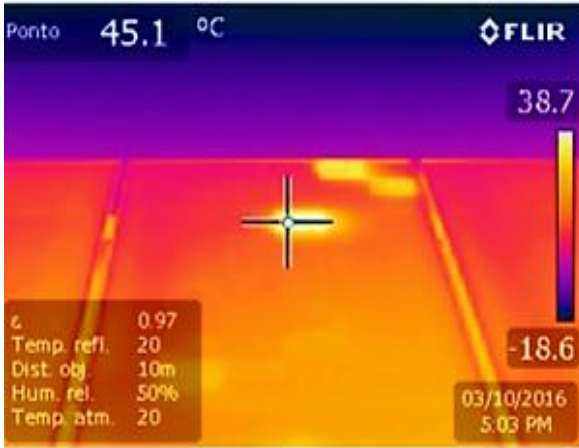
### III-5 - تأثير الظل على خصائص (I-V) للخلايا الكهروضوئية :

يؤثر الظل على خصائص الخلية (التيار - الجهد)، والذي يؤدي إلى تغير منحنى (I-V) عند تعرض الخلايا للظل، وكذلك في حالة حدوث ظل صغير أو جزئي على الخلايا نجد انخفاض محسوس في المخرج، يمر تيار الخلايا الغير مظلمة (الخلايا السليمة) في الخلية المتعرضة للظل مسببة سخونة زائدة لها وانهيائها تعرف هذه الظاهرة بالنقطة الساخنة [5].

#### ❖ النقطة الساخنة :

تحدث ظاهرة النقاط الساخنة في الخلايا الكهروضوئية المتولدة عن ارتفاع درجات الحرارة عن حدّها المسموح، وتعتبر خطراً حقيقياً يهدد عمل وكفاءة الخلايا، حيث أنها تهدد العمر الزمني للخلايا الكهروضوئية وكذلك تقلل من كفاءة إنتاجها للتيار الكهربائي بشكل ملحوظ.

تنشأ هذه النقاط لعدة أسباب منها : تعرض الخلايا للتظليل الكلي أو الجزئي، مما يؤدي إلى عدم إنتظام توزيع ضوء الشمس على سطح الخلايا وعدم أنتظام سريان التيار الكهربائي في الخلايا المظلمة بحيث أنها مظلمة وغير قادرة على إنتاج تيار كباقي الخلايا الغير مظلمة، مما يجعلها تعمل في حالة الانحياز العكسي وبالتالي تياراً أقل يمر فيها عن تيار باقي الخلايا التي تعمل بشكل منتظم في منطقة الانحياز الامامي [38].

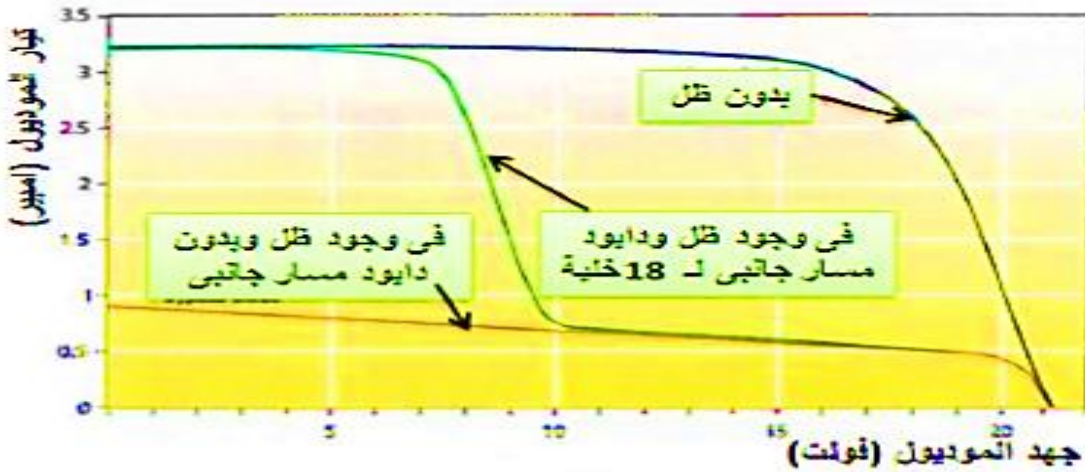


الشكل (III-34): يمثل خلية كهروضوئية بها بقعة ساخنة [36].



للحد من حدوث البقعة الساخنة (ولكن بشكل جزئي فقط) يتم استخدام الصمام الثنائي الجانبي، والذي يمنع الجهود العالية الحادثة على الخلايا الكهروضوئية في اتجاه الانحياز العكسي، إذا تم توصيل مثل هذا الصمام الثنائي الجانبي في كل خلية، فإن المشكلة التي يسببها التظليل ستخفض بشكل كبير، بالنسبة للخلايا البلورية يتم استخدام الصمام الثنائي الجانبي لكل 18 خلية، عند تعرض خلية في موديول (36 خلية) للظل، ويحتوي لموديول على صمامين، سيؤثر الظل على خصائص (V-I) كما في شكل (34-III) والذي يتضح منه :

- في حالة عدم وجود صمام ثنائي الجانبي، فإن تيار الموديول ينخفض من 3.2A إلى 0.9 A تقريباً.
- في حالة وجود صمام ثنائي الجانبي، فإن تيار يستمر بنفس قيمته في 18 خلية السليمة، ثم ينخفض إلى قيمة حوالي 0.9A [5] [34].

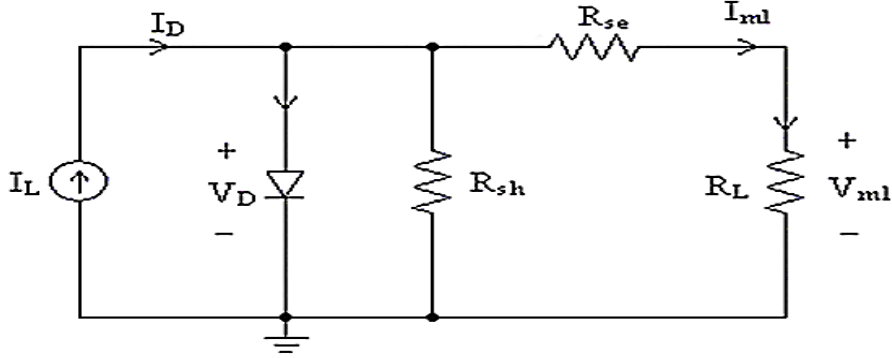


الشكل (III-35): منحنى العلاقة بين الجهد والتيار في حالتي وجود وعدم وجود الظل [5].

### III-6 - التظليل على التوالي أو التوازي :

❖ في حالة ربط على التوالي :

جهد المخرج يمثل مجموع جهود كل الخلايا، وأما التيار المتحصل عليه يساوي مجموع التيارات الخاصة لكل خلية، يمثل نموذج الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية الموضح في الشكل (III-35).



الشكل (III-37): نموذج الدارة المكافئة للخلية الكهروضوئية [38].

- يكتب التيار الناتج من الرسم البياني كالتالي :

$$I_{m1} = I_L - I_D - I_{R_{sh}} \quad (1-III)$$

- يعطي تيار الصمام الثنائي بواسطة معادلة شوكللي (Shockley) :

$$I_D = I_0 \left\{ \exp\left(\frac{V_{m1} + I_{m1}R_{se}}{V_t}\right) - 1 \right\} \quad (2-III)$$

- تعطى قيمة تيار الخارجة عبر مقاومة الحمل بمعادلة التالية :

$$I_{m1} = I_L - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{V_{m1} + I_{m1}R_{se}}{V_t}\right) - 1 \right\} - \frac{V_{m1} + I_{m1}R_{se}}{R_{sh}} \quad (3-III)$$

حيث ان :

V : جهد الخلية (v) .

I : تيار الخلية (A) .

$I_0$  : تيار التشبع العكسي للديود.

Rse : مقاومة التوالي ( $\Omega$ ) .

Rsh : مقاومة التوازي ( $\Omega$ ) .

$V_t$  : الفولتية المتولدة من درجة الحرارة ( $=nkT/q$ ) .

n : المعامل المثالي للديود.

k : ثابت بولتزمان ( $=1.381*10^{23}$ -J/K) .

T : درجة الحرارة المطلقة للخلية كالفن.

q : شحنة الإلكترون ( $=1.602*10^{19}$ -c) .

عند ربط على التوالي وفي حالة حدوث ظل أو عطل على أحد الخلايا، فإن الخلايا المعرضة للظل تسبب انخفاض في التيار المار بالخلايا الغير مظلمة، وهذا ما يؤدي إلى أن تقوم الخلايا الغير مظلمة بإنتاج جهود أعلى من جهد الانحياز العكسي للخلية المظلمة، وبالتالي فإن الظل الذي يسقط على الخلايا سيقبل من القدرة الكلية الخارجة بطريقتين [39]:

- تقليل الطاقة الداخلة والساقطة على الخلايا.
- زيادة فقد الطاقة في الخلايا المظلمة.

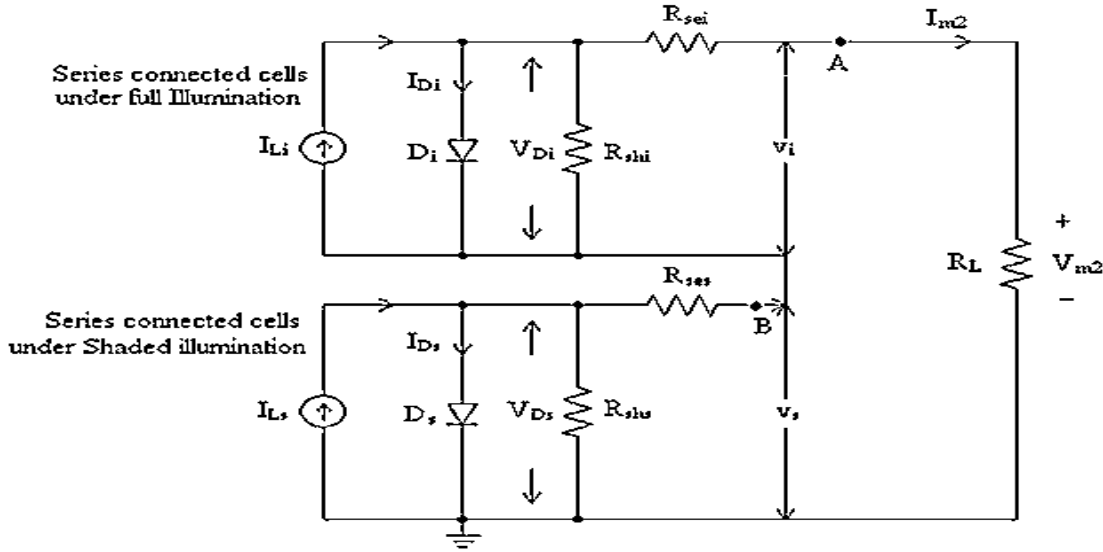
تصبح المشاكل أكثر خطورة عندما تصبح الخلايا المظلمة بفولتية الانحياز العكسي .

في الشكل (III-36) ترتبط مجموعة من الخلايا تحت الإشعاع الشمسي الكامل على التوالي بمجموعة أخرى من الخلايا تحت تأثير الإشعاع المظلل، وبالتالي فإن التيار المتولد من الخلايا المشعة بالكامل  $I_{L1}$  يكون أكبر من التيار المتولد من الخلايا المظلمة  $I_{LS}$  [39].

إذا كان تيار الخلايا  $I_{LS} < I_{m2}$ ، فإن الصمام الثنائي للخلية المظلمة  $D_s$  يكون بالانحياز الأمامي، وبالتالي فإنه لا يوجد هناك أي ضرر من الخلايا المظلمة. ولكن إذا كان  $I_{LS} > I_{m2}$ ، فإن تيار الصمام الثنائي للخلية المظلمة  $I_{Ds}$  يكون  $(I_{Ds} = I_{LS} - I_{m2})$  والمار خلال الثنائي في حالة الاتجاه المعاكس [39].

أن الصمام الثنائي للخلية المظلمة  $D_s$  سيكون بمقاومة عالية و سيبدد الطاقة المتحصل عليها من هذه الخلية، وبالتالي سيقبل بشكل كبير تيار الحمل الخارج [39].

النقطة B في الشكل (III-36) تكون بجهد سالب. إذا كان الفرق في مستويات الإشعاع الشمسي كبير، فإن  $D_s$  ربما قد يؤدي إلى تلفه نتيجة الحرارة العالية المتولدة وبسبب هذا التأثير [39].



الشكل (III-37): خليتين أحدهما مظلة والثانية معرضة للإشعاع الشمسي الكامل [39].

التيار الضوئي المتولد من الخلية المظلمة هو  $FI_L$ ، بحيث إن  $F$  هي النسبة بين التيار الضوئي المتولد من الخلية المظلمة إلى التيار الضوئي المتولد من الخلية المضاءة بالكامل بسبب التباين في نسبة الإشعاع الشمسي الساقط عليهم [39].  $F=0$  في حالة الخلية مظلمة بالكامل،  $F=1$  في حالة الخلية تحت الإشعاع الشمسي الكامل.

بما أن هناك مجموعة خلايا كهروضوئية مربوطة على التوالي مع مجموعة خلايا أخرى معرضة للظل فإن التيار المتولد يعطى بالمعادلة التالية :

$$I_S = FI_L - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{V_{Ds}}{V_t}\right) - 1 \right\} - \frac{V_{Ds}}{R_{shs}} \quad (4-III)$$

حيث أن :

$$V_{DS} = V_s + I_S R_{ses} \quad (5-III)$$

- وبالمثل يعطى التيار المتولد من الخلايا تحت الإشعاع الشمسي كالتالي :

$$I_i = I_L - I_0 \left\{ \exp\left(\frac{V_{Di}}{V_t}\right) - 1 \right\} - \frac{V_{Di}}{R_{shi}} \quad (6-III)$$

$$V_{Di} = V_i + I_i R_{sei} \quad (7-III)$$

حيث ان :

وبما أن الخلايا المظلمة ولغير مظلمة مربوطة على التوالي، فإن نفس التيار يمر خلالهما ومن المعادلات

(4-III),(5-III),(6-III),(7-III) وبالتعويض عن قيمتي  $I_s$  و  $I_i$  فإن التيار الخارج يكون :

$$I_{m2} = FI_L - I_0 \left\{ \exp \left( \frac{V_{DS}}{V_t} \right) - 1 \right\} - \frac{V_{DS}}{R_{shs}} \quad (8-III)$$

$$I_{m2} = I_L - I_0 \left\{ \exp \left( \frac{V_{Di}}{V_t} \right) - 1 \right\} - \frac{V_{Di}}{R_{shi}} \quad (9-III)$$

إذا كانت قيمة F تقل من 1 إلى 0 و أن  $\exp \left( \frac{V_{DS}}{V_t} \right)$  سوف تقترب من 0 فإن المعادلة (8-III) يمكن

تبسيطها كالتالي :

$$I_{m2} = FI_L + I_0 - \frac{V_s + I_{m2} R_{ses}}{R_{shs}} \quad (10-III)$$

- بما أن الربط على التوالي فإن نفس التيار يمر خلالهما:

$$I = I_{m1} = I_{m2} = FI_L + I_0 - \frac{V_s + IR_{ses}}{R_{shs}} \quad (11-III)$$

- من المعادلة (11-III) فإن الجهد عبر الخلية المظلمة يكون :

$$V_s = (FI_L - I)R_{shs} - IR_{ses} \quad (12-III)$$

- يتم الحصول على الطاقة التي تفقدها الخلية المظلمة من المعادلة (12-III) :

$$P_{DS} = I * V_s = I \{ (FI_L - I)R_{shs} - IR_{ses} \} \quad (13-III)$$

وبما أن الألواح تتكون من 36 خلية مربوطة على التوالي مع بعضها فإن الجهد الخارج يعبر عنه :

$$V = V_{m1} + V_{m2} = V_{m1} + (V_i + V_s) = V_{m1} + \{ \sum_{j=0}^a V_{ij} + \sum_{k=0}^b V_{sk} \} \quad (14-III)$$

a+b=36

بحيث ان :

a= تمثل عدد الخلايا تحت الإشعاع الشمسي الكامل.

b= تمثل عدد الخلايا المظلمة.

❖ في حالة ربط على التوازي :

$$I = I_{m1} + I_{m2} = I_{m1} + \left\{ FI_L + I_0 - \frac{V_S + I_{m2} R_{ses}}{R_{shs}} \right\} \quad (15-III)$$

- من المعادلة (15-III) يعطى جهد الخلية المظلمة :

$$V_S = (FI_L + I_{m1} - I)R_{shs} - I_{m2}R_{ses} \quad (16-III)$$

في المعادلة (12-III) و (16-III) يتم إهمال قيمة  $I_0 R_{sh}$  مقارنة بغير القيم الأخرى.

- من المعادلة (16-III) تعطى الطاقة المبددة من الخلية المظلمة ب :

$$P_{DS} = I_{m2} * V_S = I_{m2} \{ (FI_L + I_{m1} - I)R_{shs} - I_{m2}R_{ses} \} \quad (17-III)$$

يعطى جهد الخلايا بالمعادلة التالية :

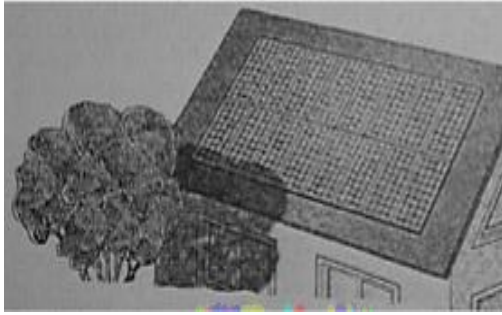
$$V = V_{m1} = V_{m2} = \{ \sum_{j=0}^a V_{ij} + \sum_{k=0}^b V_{sk} \} \quad (18-III)$$

لحد من حدوث ظاهرة الظل ولتقليل من تأثيرها على الخلايا الكهروضوئية يتم توصيل الصمام الثنائي الجانبي على التوازي مع كل خلية، بحيث يعمل هذا الصمام على خلق مسار للتيار المتولد دون المرور في الخلية المعرضة للظل، ولتقليل من تأثير الظل من الأحسن ربط الخلايا على التوازي.

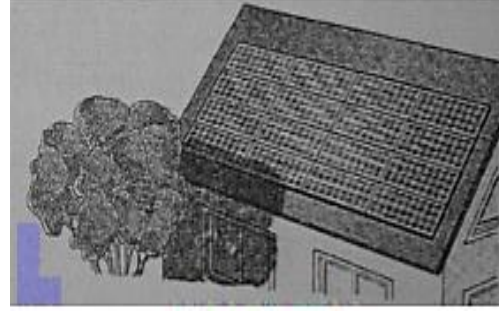
### 7-III- تركيب الخلايا أفقياً أو رأسياً :

يؤثر الظل على خصائص الخلايا الكهروضوئية ويعتمد هذا التأثير على حسب وضع هذه الخلايا إذا كانت في وضع رأسي أو أفقي بالنسبة للظل.

يوضح الشكل (11-III) أن الخلايا المركبة أفقياً (1)، والخلايا المركبة رأسياً (2). حيث نلاحظ أنه في حالة الخلايا المركبة أفقياً (1) تعرضت خليتين فقط للظل، بينما في حالة الخلايا المركبة رأسياً (2) تعرضت 4 خلايا للظل.



خلايا مركبة رأسية (2)



خلايا مركبة أفقيا (1)

**الشكل (III-38): خلايا مركبة أفقيا أو رأسية [5].**

من الأحسن تركيب الخلايا أفقيا وليس رأسيا، وذلك راجع لأن كل خلية تحتوي على صمامين مسار الجانبي والتي تكون فعالة عند تعرض الخلايا لظل. إذا كانت الخلايا مركبة أفقيا وتعرضت للظل عند النصف السفلي، ففي هذه الحالة سيكون هناك صمام واحد فعال و ينتج طاقة حتى 50% من سعته. أما في حالة الخلايا المركبة رأسيا فإن الظل عند أسفل الخلايا سيجعل الصمامين في الحالة الفعالة وبالتالي لا تنتج الخلايا طاقة [5].

لذلك فإن الاختيار الجيد لتركيب الخلايا من الممكن أن يحسن من أداءها وللتغلب على حالات الظل.

**III-8 -تأثير الظل على أداء الخلايا الكهروضوئية :**

يؤثر الظل بشكل كبير على أداء الخلايا الكهروضوئية، حيث لوحظ التغير الكبير بين التيار المتولد في حالة الظل والتيار المتولد بدون الظل وفي نفس اللحظة، وأن قيمة هذا التيار تعتمد على مقدار الظل المتكون على الخلايا، كما أن الظل يزيد من الوقت اللازم لشحن البطارية، و يعتمد هذا التأثير على عدد الخلايا المعرضة لظل، و درجة هذا الظل، وتوصيل الخلايا والصمام الثنائي الجانبي.



**9-III - لتقليل تأثيرات التظليل:**

توجد بعض الطرق لتقليل من تأثيرات التظليل بقدر الإمكان، لكن في بعض الأحيان لا يمكن تجنب بعد الظلال على الخلايا الكهروضوئية من بين هذه الطرق:

➤ التعويض بزيادة لوحات إضافية :

إذا كان الظل يحدث على جزء محدد بالسلسلة في اليوم، فيمكن تعويض بإضافة لوحات وتركيبها بعيدة عن العوائق و ذلك للحصول على أقصى مخرج قدرة خلال نفس الفترة في اليوم[5].

➤ تركيب الخلايا بطريقة أفقي.

**10-III -الخاتمة:**

يمكن القول كخلاصة من خلال هذا الفصل أن الظل هو أحد المشاكل التي تؤثر على الطاقة المنتجة والكفاءة اللوح الكهروضوئي، وفي حالة وجود تظليل فإن الخلايا لا تتلقى الكمية اللازمة من الإشعاع الشمسي، وللد من هذه المشكلة يتم توصيل ديود على التوازي مع كل خلية لحماية الخلايا ضد مشاكل النقاط الساخنة.

كما أن الاختيار المثالي للتركيب الخلايا من الممكن ان يحسن من أدائها.

الخاتمة العامة

إن تطبيقات الطاقة الشمسية تواجه مشاكل كثيرة، واحدة من أهم هذه المشاكل وجود الظل المتكون على سطح الخلايا الكهروضوئية، يؤثر هذا الظل على الطاقة المنتجة و كفاءة هذه الخلايا. في هذا العمل قمنا بدراسة نظرية لتأثير الظل على أداء الخلايا الكهروضوئية، وذلك بالاعتماد على مجموعة من الدراسات السابقة حيث تم تحليل ومقارنة النتائج المتحصل عليها من عمليات القياس للخصائص الكهربائية، تم الحصول على الاستنتاجات التالية:

✓ في حالة وجود الظل على الخلايا فإن اللوح لا يتلقى الكمية اللازمة من الإشعاع الشمسي، مما يتسبب في تشويه منحنيات الخصائص الكهربائية (I-V) و (P-V) حيث يعمل هذا التظليل على حجب الخلية ومنع مرور الإشعاع الشمسي إليها، مما يزيد من نسبة انخفاض الطاقة المنتجة كلما زادت المساحة المظللة، و يختلف تأثير هذا الظل حسب معدل التظليل.

✓ تيار الدارة القصر يتغير خطياً مع مساحة التظليل، في حين أن الاستطاعة القصوى المنتجة تتغير عكسياً مع المساحة المظللة، و يكون تأثيره قليل على جهد الدارة المفتوحة.

✓ يتحول التيار المار في الخلية المظللة (الناتج من الخلايا السليمة) إلى حرارة، إذا كان هذا التيار عالي بما يكفي يسبب النقطة الساخنة، وللد من حدوث هذه النقطة تستخدم ديودات المسار الجانبي.

✓ ديود المسار الجانبي يسمح للتيار بالمرور في حالة وجود الظل على أحد الخلايا.

✓ تأثير الظل على جزء من الخلية يماثل نفس تأثير الظل على كل الخلايا المتصلة على التوالي، والنتيجة عدم مرور تيار والفقد الكامل لقدرة المخرج، لذلك يتم توصيل الخلايا على التوازي.

✓ كشفت النتائج أن التركيب الأفقي أقل حدة من التركيب العمودي.

يؤثر الظل بشكل كبير على كفاءة الخلايا الكهروضوئية، وهذا ما يؤدي إلى عدم الاستفادة من تقنية هذه الخلايا في إنتاج الكهرباء، لذلك من الضروري إجراء دراسة واسعة لتأثير التظليل على الأنظمة الكهروضوئية للحد من هذه المشكلة.

و في الأخير نتمنى أن تساهم هذه الدراسة النظرية في إعطاء المهتمين بهذا المجال نظرة على حول مدى تأثير الظل على الخصائص الكهربائية للخلايا الكهروضوئية.

# المراجع و المصادر

المراجع و المصادر

مراجع اللغة العربية:

- [1] محمد البار سوداني-« تحقيق عملي لمركز شمسي أسطواني مكافئ ذي غطاء زجاجي»- رسالة دكتوراه- جامعة قاصدي مرباح 2018
- [2] الطاقة الشمسية-مجلة العلوم والتقنية- العدد الرابع و الثلاثون-سبتمبر1995.
- [3] محمد يحي رمضان الخطيب- دور الخلايا الشمسية في توفير الطاقة وتشكيل المعماري للمباني سكنية في قطاع غزة - مذكرة ماجستير في الهندسة المعمارية - الجامعة الإسلامية غزة عمادة الدراسات العليا كلية الهندسة-1436/2015.
- [4] إيمان بابكر الحسين- مستقبل الطاقة الشمسية وإمكانية استخدامها كمصدر طاقة بديل في السودان – بحث تكميلي لنيل درجة الماجستير في الفيزياء –جامعة السودان (2015) .
- [5] د. كاميليا يوسف محمد- الطاقة الكهروشمسية-الأسكندرية-2016 .
- [6] د. سعود يوسف عياش –تكنولوجيا الطاقة البديلة –عالم المعرفة الكويت فبراير1981.
- [8] بوخلفة أمينة - « دراسة تجريبية لتأثير الغبار على الخصائص الكهربائية للألواح الشمسية الكهروضوئية»- بمنطقة ورقلة – مذكرة ماستر أكاديمي -جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018/2017.
- [9] أنبيل شهيد- حساب الإشعاع الشمسي الساعي بمساعدة الحاسوب- مجلة الطاقة والحياة-العدد(الثالث والعشرون)2006.
- [10] رسول رمضان عتاب- حساب وتحليل كمية الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على السطح الأفقي لمدينة الناصرية- مجلة علوم ذي قار، العدد2، 2010 .
- [11] كتاب الطاقة الشمسية- مجلة علمية –مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية –سبتمبر 1995.
- [12] علي تاجي حمودي -« دراسة وتنفيذ وتحسين أداء محطة ضخ مياه تعمل بالطاقة الشمسية » - أطروحة نيل شهادة الماجستير في هندسة القوى الميكانيكية- جامعة تشرين 2009/2008.

- [13] أولاد سالم حليلة-«تقدير الإشعاع الشمسي في منطقة ورقلة وتأثير طرق التتبع الشمسي وزوايا اللاقط على شدة الإشعاع»-مذكرة ماستر أكاديمي -جامعة قاصدي مرباح ورقلة 2018.
- [16] محمد أحمد سيد خليل- الطاقة الشمسية واستخداماتها -دار الكتاب العلمية للنشر والتوزيع القاهرة .
- [17] مسعودي الضاوية- «تأثير مخروط عاكس على تركيز مركز شمسي» - مذكرة تخرج لنيل شهادة ماستر أكاديمي -جامعة ورقلة 2011.
- [18] م.شعبان عاشور-الخلايا الشمسية- مجلة الطاقة والحياة العدد الرابع مارس 1995.
- [19] م. مؤيد فايز القواسمة- أشباه الموصلات -مكتبة المجتمع العربي للنشر والتوزيع -عمان 2005.
- [20] د.أسامه أحمد العاني- الخلايا الكهروضوئية- العلوم و التقنية -ربيع الآخر 1412 هجري -العدد الرابع والثلاثون.
- [24]جون ر .فانشي -كتاب الطاقة التقنية والتوجهات للمستقبل - ترجمة د.عبد الباسط على صالح كرمان- الطبعة الأولى 2011.
- [25] حجاج محمد طالب- زناتي عادل-«تحسين مردود الألواح الشمسية باستخدام العواكس المسطحة»-مذكرة ماستر أكاديمي -جامعة قاصدي مرباح ورقلة -2019.
- [26] عبد الباسط على صالح كرمان- توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية -«أنظمة الطاقة الفولتضوئية» -مركز الدراسات الوحدة العربية-2011.
- [30] يوسف هاجر - سبوعي ياسين -«دراسة انتاج الهيدروجين الشمسي في منطقة الوادي»- مذكرة ماستر أكاديمي -جامعة الشهيد حمه لخطر الوادي -2017.
- [32] عبد العزيز محمد سعيد الذبحاني - تأثير العوامل المناخية في اختيار نوعية الألواح الفوتوفولتائية المستخدمة وسعة الخزان المستخدمة - مجلة العلوم والتكنولوجيا المجلد (14) العدد (2) -2009.
- [37] تاتي مريم - بسملة رجاء - «تأثير الغبار على الألواح الشمسية الكهروضوئية»- مذكرة ماستر أكاديمي -جامعة قاصدي مرباح ورقلة -2019.

[7]Touilla Nacre Eddine et Ghenbazi Slimane- « Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque » -Mémoire de Master –Université Echahide Hama Lakhder d'El-Oued-2015.

[14]Matallah Soraya Dinentiannenet-« simulation d'un système photovoltaïque pour a alimenter un habitat do ns la wilaya d'Ouargla »-Mémoire de Master- u.k.M.Ouargla-2015

[15]Ben djellouli Zakaria-« Contribution a la modalisation d'un cellule solaire»- Mémoire pour l'optenation du diplôme de Magister-universite de BECHAR -2008/2009.

[21]Benghabrit Siham-«Elaboration et caractérisation de couches minces Cds par bain chimique CBD pour application photovoltaïque »- thèse de doctorat – université Oran-2015.

[22]Ababacar Nadiaye-«Etude de la dégradation et de la fiabilité des modules photovoltaïque –impact de la poussière sur les caractéristiques électriques de performance»-Thèse de doctorat-ecole superieure polytechnique(ESP)-UCAD-2013.

[23] Farida Bandou-«Contribution a l'Analyse des performances électriques et thermiques des modules photovoltaïques de différentes Technologies» - Thèse de doctorat en science – Université mouloud mammeri de TIZI-OUZOU-2016.

[27] Mme Azizi Amina-«Modélisation optimisation d'un système de production d'énergie photovoltaïque avec un système de stokage hybride»- Thèse de doctorat- Université Badji Mokhtar-Annaba-2019.



[28] Boualem Bendib-«Une nouvelle approche de modélisation et de commande des systèmes photovoltaïque autonomes»-Thèse de doctorat- Université Ferhat Abbas-Setif1-2017.

[29] Naima Touafek-« Contribution à l'étude d' une cellule solaire en couches minces minces à base de  $CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$ »- Thèse de doctorat- Université Des Frères Mentouri-Constantine-2015.

[31] M.Slama fateh-«Modélisation d'un système multi générateurs photovoltaïques interconnectés au réseau électrique»- mémoire de magister - Université Ferhat Abbas-Setif-2011.

[33] Atek Mourad -«Effets du taux d'ombrage sur les performances des solaires à base de CIGS»- Mémoire de Magister - Université Ferhat Abbas-Setif-2013.

[34] G.Notton , I.Caluianu, I.Caluianu et S.Caluianu -«Influence d' un ombrage partiel sur la production électrique d' un module photovoltaïque en silicium monocristallin »- Revue des Energies Renouvelables-Vol.13(2010) 49-62.

[35] Pawan Kumar Pandit , P.B.L Chaurasia-« Experimental Study of Shading Effect on PV Module and improvement in Power Using Diode on Series & Parallel PV Module»- International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online): 2319-7064 Impact Factor (2012):3.358

[36] João Paulo. N Torres , Samuel K. Nashih, Carlos A.F.Fernandes, João C.Leite-«The effect of shading on photovoltaïque solar panels»- Energy Syst DOI 10.1007/s12667-016-0225-5-june 2016.

[38] Ibrahim Hassan Ali Banat -«Photovoltaic Panel hot spots model »- Mémoire de Master of science- King Fahd university of Petroleum& Minerals -2016

[39] Ramaprabha ramabadran , Badrilal mathur-«Effect of shading on series and parallel connected solar PV modules»-Modern applied science -  
www.ccsen.org/journal.html- Vol.3,No.10-October 2009.

[40] E. Díaz-Dorado, A. Suárez-García, C. Carrillo, and J. Cidrás-« Influence of the shadows in photovoltaic systems with different configurations of bypass diodes»- International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion- SPEEDAM 2010.

[41] Alberto Dolara a, George Cristian Lazaroiu b, Sonia Leva a, Giampaolo Manzolini-« Experimental investigation of partial shading scenarios on PV(photovoltaic) modules»

<http://www.elsevier.com/locate/energy><http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2013.04.009>-

[42] MEKIDECHE Yacine, AKKAL Mahmoud -«Influence d'ombrage sur le comportement d'un générateur photovoltaïque»- mémoire de magister – Université Akli Mohand Oulhadj – Bouira 2018.

## المخلص

تتأثر الألواح الشمسية الكهروضوئية بعدة عوامل تقلل من أدائها ومن قيمة القدرة الخارجة، في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير الظل على كفاءة الخلايا الكهروضوئية، بينت النتائج المتحصل عليها من الدراسات السابقة أن تأثير هذا الظل يؤدي إلى انخفاض في الطاقة المنتجة بحيث يؤثر بشكل كبير على تيار الدارة القصر، مما يتسبب في تشويه منحنيات الخصائص الكهربائية (I-V) و (P-V)، كما أظهرت النتائج أن الفقد في الطاقة يزداد بزيادة معدل التظليل، وللحد من تأثير هذا الظل يتم توصيل الصمام الثنائي الجانبي على التوازي مع كل الخلايا، و ربط الخلايا على التوازي و تركيبها بطريقة أفقية.

**الكلمات المفتاحية:** الخلايا الكهروضوئية، التظليل، الكفاءة، الاستطاعة العظمي، ، الصمام الثنائي الجانبي.

## Abstract

Solar photovoltaic panels are affected by several factors that reduce their performance and the value of the output power, in this work we studied the effect of shade on the efficiency of photovoltaic cells, the results obtained from previous studies showed that the effect of this shade leads to a decrease in the energy produced so that it greatly affects the circuit current Shortening, causing distortion of the electrical characteristics (I-V) and (P-V) curves. The results also showed that the energy loss increases with the increase in the shading rate, and to reduce the effect of this shadow, the side diode is connected in parallel with all cells, and the cells are connected in parallel. And installed in a horizontal manner.

**Key words:** PV cells, shading, efficiency, maximum power, diode bypass.

## Résumé

Les panneaux solaires photovoltaïques sont affectés par plusieurs facteurs qui réduisent leurs performances et la valeur de la puissance de sortie, dans ce travail nous avons étudié l'effet de l'ombre sur le rendement des cellules photovoltaïques, les résultats obtenus des études précédentes ont montré que l'effet de cette nuance conduit à une diminution de l'énergie produite de sorte qu'elle affecte grandement le courant de court-circuit, provoquant une distorsion des courbes de caractéristiques électriques (IV) et (PV). Les résultats ont également montré que la perte d'énergie augmente avec l'augmentation du taux d'ombrage, et pour réduire l'effet de cette ombre, la diode latérale est connectée en parallèle avec les cellule, et les cellules sont connectées en parallèle et installés de manière horizontale.

**Mots clés:** cellules photovoltaïques, ombrage, efficacité, puissance maximale, dérivation de diode.