

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

جامعة محمد بوضياف - مسيلة

ميدان : علوم المادة

فرع: الفيزياء

تخصص: فيزياء تطبيقية



كلية العلوم

قسم الفيزياء

مذكرة مقدمة لنيل شهادة الماستر أكاديمي

إعداد الطالب : نعيبي سامي

تحت عنوان

دراسة تطور أداء وحدة كهروضوئية في محطة توليد الطاقة الكهربائية

بواد الكباريت - سوق اهراس

تمت المناقشة يوم .../06/2024 امام اللجنة المكونة من :

رئيسا
مشرفا و مقرا
مناقشا

جامعة المسيلة
جامعة المسيلة
جامعة المسيلة

نحوي عزالدين
تركي زهير
حداد زكرياء

السنة الجامعية: 2024/2023

إهداء

الحمد والشكر لله تعالى لبلوغني هذا اليوم .

شكرا وعرفانا اهدي عملي هذا

إلى التي على بساط الأوجاع ولدتني وبأيدي الألام ربنتني وبعيون التعجب رعتني وبصدر المشقات حمتني، إلى أغلى إنسانة في الكون وأجمل ابتسامة في الحياة. إلى أعذب صوت في الدنيا، إلى من كان دعائها سر نجاحي وحنانها بلسم جراحي إلى من بوجودها أكتسب

قوة ومحبة لا حدود لها إلى من لا تفارق

مخيلتي أبدا. إليك جنتي أمي

أطال الله عمرك وأدامك فوق رؤوسنا

إلى من كلفه الله بالهبة والوقار، إلى من علمني العطاء دون انتظار، إلى

من أحمل اسمه بكل افتخار، إلى من كانت نجومه طريقا اهتدي

به في الظلمات وكانت كلماته مقتادا لكل الأبوابة.

إلى من أظفروا لي ما هو أجمل من الحياة، إلى من سندنني واعماني للوصول إلى

ما أنا عليه اليوم، إلى من علموني علم الحياة، إلى من أثروني على أنفسهم إلى من أروني

التفاؤل في هذه الحياة بعد خيبة الأمل.

إلى إخوتي سدي:

إلى من تذوقتك معهم أجمل اللحظات، إلى من سافقتهم في نهاية هذا المشوار، إلى من

تشاركت معهم هذه المذكرة الصغيرة، إلى إخوتي الذين لم تلدهم لي أمي إلى من جمعني

بهم سبيل العلم، إلى من عرفتك كيف أجدهم وعلموني أن لا أضيعهم.

إلى زملاء الدرب إلى من كانوا نورا في طريقتي إلى من ساهموا في بناء معارفي إلى من

اروني التفاؤل والمحبة والإخلاص إلى من ذكرهم قلبي ولم

يكتبهم قلبي إلى كل من كان جزءا من مسيرتي.

شكرا خالصا إلى قديوتي في مشواري ومنبع العطاء العلمي على الجهود المبذولة من

أجل إنجاح هذا العمل وعلى تكويني إلى أستاذي تركي زهير

الفهرس

قائمة الاشكال

قائمة الجداول

02..... مقدمة عامة

I- الفصل الأول: معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية

05..... 1.I - مقدمة.

05..... 2.I - مبدأ تشغيل الخلية الكهروضوئية.

05..... 2.1.I - تاريخ التحويل الكهروضوئي

05..... 2.2.I - كيف تعمل الخلايا الشمسية الكهروضوئية؟

06..... 3.I - أنواع الخلايا الشمسية.

06..... 1.3.I - خلية شمسية من السيليكون غير المتبلور (A-Si)

07..... 2.3.I - الخلايا الشمسية الهجينة الحيوية.

08..... 3.3.I - الخلايا الشمسية المتصلة داخليا

08..... 4.3.I - الخلية الشمسية الكادميوم تيلورايد (CdTe)

09..... 5.3.I - الخلايا الكهروضوئية المركزة (CPV) و (HCVP)

09..... 6.3.I - الخلايا الشمسية من نوع : (CI (G) S)

10..... 7.3.I - الخلايا الشمسية الصبغية

11..... 8.3.I - خلية شمسية من زرنيخيد الجاليوم والجرمانيوم (GaAs)

12..... 9.3.I - الخلايا الشمسية الهجينة.

13..... 10.3.I - خلية التركيز الشمسي المضيئة (LSC)

14..... 11.3.I - الخلايا المجهرية باستخدام الترادف بين (a-Si / μ c-Si).

14..... 12.3.I - الخلايا الشمسية أحادية البلورية (Mono-Si)

15..... 13.3.I - خلية شمسية متعددة الوصلات (MJ)

16..... 14.3.I - الخلايا الشمسية النانوية.

16..... 15. 3.I - خلية شمسية بيروفسكايت.

17.....	16.3.I - خلية كهروكيميائية ضوئية (PEC)
18.....	17.3.I - الخلايا الشمسية البوليمرية
19.....	18.3.I - الخلية الشمسية متعددة الكريستالات (Multi-Si)
20.....	19.3.I - الخلية الشمسية ذات النقاط الكمومية
20.....	20.3.I - الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة
21.....	21.3.I - الخلايا الشمسية من السيليكون الأسود
22.....	4.I خاتمة

II - الفصل الثاني: خصائص الخلايا الكهروضوئية

24.....	1.II - مقدمة
24.....	2.II - الوصف الكهربائي للخلايا الكهروضوئية
25.....	1.2.II - تيار الدائرة القصيرة: I_{cc}
25.....	2.2.II - جهد الدائرة المفتوحة: (V_{co})
26.....	3.2.II - الاستطاعة الاعظمية لخلية كهروضوئية
26.....	4.2.II - عامل الشكل: (FF)
27.....	5.2.II - المرودية: (η)
27.....	3.II - نمذجة الخلايا الكهروضوئية
27.....	1.3.II - النموذج الأساسي
27.....	2.3.II - النموذج المثالي
29.....	3.3.II - نموذج ثنائي الصمام
29.....	1.3.3.II - نموذج المقادير السبعة (2M7P)
31.....	2.3.3.II - نموذج المقادير الستة (2M6P)
32.....	3.3.3.II - نموذج المقادير الخمسة (2M5P)
33.....	4.3.II - نموذج أحادي الصمام
34.....	1.4.3.II - نموذج ثلاثي المقادير (L3P)
35.....	2.4.3.II - نموذج رباعي المقادير (L4P)
36.....	3.4.3.II - نموذج خماسي المقادير (L5P)

36..... 4.II خاتمة

III -الفصل الثالث: المحطة الكهروضوئية بواد الكباريت - سوق اهراس -

38..... 1.III - مقدمة

39..... 2.III - موضع

40..... 3.III -الوصف الفني

40..... 1.3.III - مبدأ التشغيل

40..... 2.3.III - العناصر الإنشائية للمحطة الكهروضوئية - وادي الكباريت

40..... 1.2.3.III - الألواح الكهروضوئية (الوحدات الكهروضوئية)

40..... 2.2.3.III - معدات الاتصال

41..... 1.2.2.3.III - صناديق التوصيل

42..... 2.2.2.3.III - الصندوق الفرعي

43..... 3.2.3.III - العاكس

45..... 4.2.3.III - المحول

46..... 5.2.3.III - محطة الطقس

47..... 6.2.3.III - محطة الإخلاء

49..... 7.2.3.III - غرفة التحكم

50..... 3.3.III - مميزات رفع ميل الألواح إلى 32 درجة

50..... 4.III الخاتمة

IV - الفصل الرابع: تقييم أداء الوحدات الكهروضوئية بمحطة وادي الكباريت

52..... 1.IV - مقدمة

52..... 2.IV - تحليل أداء الخلايا الكهروضوئية

52..... 1.2.IV - المولدات الكهروضوئية

54..... 2.2.IV - مقادير الوحدة الكهروضوئية

54..... 1.2.2.IV - تأثير الإضاءة على : $I_{cc-Module}$ ، $V_{co-Module}$ او P_{max}

55..... 2.2.2.IV - تأثير درجة الحرارة على : $I_{cc-Module}$ ، $V_{co-Module}$ او P_{max}

56	3.2.IV . الاستطاعة الفعالة القصوى ومعدل التدهور
57	4.2.IV - عامل الشكل
57	5.2.IV - الطاقة الكلية المتولدة من محطة كهروضوئية.....
58	6.2.IV - تقييم الأداء الكمي.....
58	1.6.2.IV - أداء الوحدة.....
58	2.6.2.IV - الأداء النهائي للوحدة.....
58	3.6.2.IV - الأداء المرجعي للوحدة
59	4.6.2.IV - نسبة الأداء
59	5.6.2.IV - مؤشر القدرة (CF)
60	7.2.IV - المردود (η).....
60	8.2.IV - ضياع الطاقة.....
60	1.8.2.IV - الضياع في الوحدة: (L _C)
60	2.8.2.IV - الضياع في النظام (L _S)
61	3..IV - تحليل أداء الوحدات الكهروضوئية بوادي الكباريت خلال سنة 2021.....
61	1.3..IV - تحليل معلومات الوحدة الكهروضوئية المستعملة
62	2.3..IV - تحليل الارصاد الجوية.....
63	1.2.3..IV - تغيرات درجة الحرارة
64	2.2.3..IV - تغيرات الإشعاع الشمسي.....
65	3.2.3..IV - تغيرات سرعة الرياح
65	4.2.3..IV - تغيرات درجة الرطوبة
66	3.3..IV - تحليل نتائج الأداء
69	1.3.3..IV - تغيرات أداء الوحدة (Y _a).....
70	2.3.3..IV - تغيرات الأداء النهائي للوحدة (Y _f)
71	3.3.3..IV - تغيرات الأداء المرجعي (Y _r).....
74	4.3.3..IV - تغيرات نسبة الأداء (PR)
75	5.3.3..IV - تغيرات مؤشر القدرة (CF)

76.....	6.3.3..IV - تغيرات المردود (η)
77.....	7.3.3..IV - تغيرات ضياع الطاقة في الوحدة (L_c)
78.....	8.3.3..IV - تغيرات ضياع الطاقة في النظام (L_s)
78.....	4.IV - الخاتمة
80.....	الخلاصة
	المراجع

قائمة الأشكال

- الشكل (1.I) هيكل الخلية الكهروضوئية 6.....
- الشكل (2.I) الخلايا الشمسية السيليكونية غير المتبلورة..... 7
- الشكل (3.I) المقطع العرضي للخلية الشمسية المدفونة..... 8.....
- الشكل (4.I) . رسم بياني يوضح الطبقات الخمس التي تتكون منها الخلايا الشمسية CdTe 9.....
- الشكل (5.I): رسم يوضح الطبقات الخمس التي تتكون منها الخلايا الشمسية (CIGS)..... 10
- الشكل (6.I): صبغ الخلايا الشمسية..... 10.....
- الشكل (7.I): رسم تخطيطي مقطعي ل . InGaP / GaAs / Ge 11.....
- الشكل (8.I): هيكل الخلايا الشمسية على أساس الأنابيب النانوية الكربونية..... 12.....
- الشكل (9.I): خلية التركيز الشمسية المضئية..... 12.....
- الشكل (10.I): بنية تخطيطية لخلية ترادفية من السيليكون الدقيق..... 13.....
- الشكل (11.I): هيكل أحادي البلورية للخلايا الشمسية..... 13.....
- الشكل (12.I): خلية متعددة الوصلات. 14.....
- الشكل (13.I): الخلايا الشمسية النانوية..... 15.....
- الشكل (14.I): هيكل خلايا البيروفسكايت الشمسية..... 15.....
- الشكل (15.I): خلية كهروكيميائية ضوئية (PEC) 16.....
- الشكل (16.I): الخلايا الشمسية البوليمرية. 17
- الشكل (17.I): خلية شمسية متعددة البلورات (P-Si)..... 17
- الشكل (18.I): الخلية الشمسية ذات النقاط الكمية 18
- الشكل (19.I): بنية الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة..... 19
- الشكل (20.I): الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون الأسود..... 20.....
- الشكل (1.II): الخاصية الأولى (V) I للخلية الكهروضوئية..... 23.....
- الشكل (2.II): دارة مكافئة لخلية كهروضوئية - نموذج مثالي..... 26
- الشكل (3.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الثنائي الآسي ، (2M7P) 27
- الشكل (4.II) : رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الثنائي الآسي ، (2M6P) 30
- الشكل (5.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الثنائي الآسي ، (2M5P) 31

- الشكل (6.II): رسم تخطيطي مكافئ لنموذج الصمام الثنائي الواحد..... 32
- الشكل (7. II) : رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الآسي ، L3P..... 32
- الشكل (8.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الآسي ، L4P..... 33
- الشكل (9.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الآسي ، L5P..... 34
- الشكل (1.III) سنترال واد الكباريت..... 35
- الشكل (2.III) الموقع الجغرافي..... 36
- الشكل (3.III) خلية ألواح شمسية متعددة البلورات YGE 60 38
- الشكل (4.III) صندوق التوصيل..... 39
- الشكل (5.III) الصندوق الفرعي 40
- الشكل (6.III) العاكس TBEA 40
- الشكل (7.III) مبدأ تشغيل العاكس 41
- الشكل (8.III) يوضح حالة العاكس في غرفة التحكم بتاريخ 10-04-2018 42
- الشكل (9.III). غرفة المحولات 43
- الشكل (10.III). محطة الأرصاد الجوية 44
- الشكل (11.III) يوضح حالة الطقس في غرفة التحكم بتاريخ 2017/12/26. 44
- الشكل (12.III). محطة الإخلاء..... 45
- الشكل (13.III). غرفة التحكم 46
- الشكل (1.IV): رسم تخطيطي كهربائي مكافئ للوحدة الكهروضوئية 49
- الشكل (2.IV): خاصية I-V للوحدة الكهروضوئية لقيمة إضاءة مختلفة 51
- الشكل (3.IV): خاصية P-V للوحدة الكهروضوئية لقيمة إضاءة مختلفة 52
- الشكل (4.IV): خاصية I-V للوحدة الكهروضوئية لقيم درجات حرارة مختلفة 52
- الشكل (5.IV): خاصية P-V للوحدة الكهروضوئية لقيم درجات حرارة مختلفة 52
- الشكل (6.IV). الخاصية I.(V). للخلايا الكهروضوئية 61
- الشكل (7.IV) الخاصية P(v) للخلايا الكهروضوئية 62
- الشكل (8.IV) منحني تغيرات درجة الحرارة بدلالة الأشهر 63
- الشكل (9.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات أداء الوحدة بدلالة الأشهر..... 63

- الشكل (10.IV) منحني تغيرات متوسط الاشعاع بدلالة الأشهر64
- الشكل (11.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات متوسط الاشعاع بدلالة الأشهر64
- الشكل (12.IV) منحني تغيرات سرعة الرياح بدلالة الأشهر65
- الشكل (13.IV) منحني تغيرات متوسط درجة الرطوبة بدلالة الأشهر65
- الشكل (14.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات متوسط الطاقة المنتجة بدلالة الأشهر68
- الشكل (15.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات متوسط الطاقة المستهلكة68
- الشكل (16.IV) منحني تغيرات متوسط اداء الوحدة بدلالة الأشهر69
- الشكل (17.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات متوسط أداء الوحدة بدلالة الأشهر69
- الشكل (18.IV) منحني تغيرات الأداء النهائي للوحدة بدلالة الأشهر70
- الشكل (19.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات الأداء النهائي للوحدة بدلالة الأشهر70
- الشكل (20.IV) منحني تغيرات متوسط الأداء المرجعي للوحدة بدلالة الأشهر71
- الشكل (21.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات الأداء المرجعي للوحدة بدلالة الأشهر71
- الشكل (22.IV) منحني تغيرات Y_f, Y_r, Y_a للوحدة بدلالة الأشهر72
- الشكل (23.IV) منحني تغيرات نسبة أداء الوحدة بدلالة الأشهر73
- الشكل (24.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات نسبة أداء الوحدة بدلالة الأشهر73
- الشكل (25.IV) منحني تغيرات متوسط مؤشر القدرة بدلالة الأشهر74
- الشكل (26.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات مؤشر القدرة بدلالة الأشهر74
- الشكل (27.IV) منحني تغيرات مردود الوحدة الكهروضوئية بدلالة الأشهر75
- الشكل (28.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات مردود الوحدة بدلالة الأشهر75
- الشكل (29.IV) منحني تغيرات ضياع طاقة الوحدة بدلالة الأشهر76
- الشكل (30.IV) منحني تغيرات ضياع الطاقة في النظام بدلالة الأشهر77

قائمة الجداول

- الجدول (1.III) . خصائص التيار المستمر المدخل لهذا العاكس.....42
- الجدول (2.III). خصائص التيار المتردد المخرج من هذا العاكس.....42
- الجدول (3.III). خصائص المحولات.....44
- الجدول (4.III) خصائص محطة الإخلاء.....46
- الجدول (1.IV) المعلومات الأساسية للوحدة الكهروضوئية.....58
- الجدول (2.IV). القيم المتوسطة للأرصاء الجوية.....59
- الجدول (3.IV) القيم المتوسطة لمقادير الأداء.....66
- الجدول (4.IV). متوسط قيم الطاقة للوحدات الكهروضوئية.....67

مقدمة عامة

مقدمة عامة

لطالما كانت الطاقة هي القوة الدافعة للنشاط البشري؛ فهي تلعب دورًا مهمًا للغاية في تنمية الأمم، و يمثل إنتاجها في السنوات القادمة تحديًا ذا أهمية كبيرة، و ان التزايد المستمر للاحتياجات الطاقة في المجتمعات الصناعية، التي يأتي جزء كبير من إنتاجها في العالم من المصادر الأحفورية، يؤدي إلى انبعاث الغازات السامة، وبالتالي زيادة التلوث، وفي المقابل، فإن ما يسمى بالطاقة المتجددة فهي تتجدد بشكل طبيعي، وإلى أجل غير مسمى، على النطاق الزمني لحضارتنا، وهي صديقة للبيئة، ومن بين هذه الطاقات، الطاقة القادمة من الشمس، فهي تلبي معايير الوفرة على سطح الأرض والتجدد اللانهائي، وبالتالي يمكن استخدامها مباشرة في شكل حراري، او يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية، وذلك منذ اكتشاف التأثير الكهروضوئي. [1]

الخلايا الشمسية هي أجهزة أشباه الموصلات التي تحول الضوء إلى طاقة كهربائية قابلة للاستخدام، تمت دراسة هذه الأجهزة في عام 1839 من قبل - أنطون سيزار بيكريل - الذي لاحظ أنه إذا سلط الضوء على الثنائيات فإنه يولد تيارًا كهربائيًا، ومع ذلك لم يتم إنشاء خلية شمسية فعالة نسبيًا، تولد كمية معقولة من الطاقة حتى عام 1954، عندما طور- تشابين وفولر وبيرسون - خلية شمسية قائمة على السيليكون لصالح مختبرات بيل (BellLabs)، و منذ إنشاء أول خلية شمسية فعالة من حيث التكلفة، زادت الأبحاث في مجال تكنولوجيا الخلايا الشمسية وتحسين الكفاءة بسرعة، و إن التركيز الأخير على استخدام الطاقة المتجددة والحاجة إلى الطاقة في المناطق النائية و الفضاء قد وضع هذا البحث في المقدمة [2].

تعد تكنولوجيا الوحدات الكهروضوئية، وأغلفة الهواء الإشعاعية الساقطة، ودرجة الحرارة، والإمالة، وأنظمة العاكس، والمحولات، من العوامل المؤثرة على أداء النظام الكهروضوئي، و يتضمن تقييم أداء الأنظمة الكهروضوئية حسب المتغيرات التالية: أداء الوحدة، والأداء النهائي، والأداء المعياري للوحدة، وفقدان النظام، والكفاءة الصديقة للطاقة الكهروضوئية، وكفاءة النظام، ونسبة الأداء، وقدرة العامل.

وكل هذه المتغيرات، ستوفر لنا نتائج تساعدنا لدراسة مقارنة بين الأداء الفعلي لأداء الوحدات الكهروضوئية والقيم المرجعية التي تحددها الشركة المصنعة، و يعد تقييم أداء الأنظمة الكهروضوئية أفضل طريقة لتحديد إمكانية إنتاج الطاقة الكهروضوئية في منطقة ما، وفي هذا السياق، هل يشير أداء الأنظمة الكهروضوئية إلى أن القيم المرجعية التي تحددها الشركة المصنعة تتوافق مع النتائج الفعلية للوحدات الكهروضوئية؟

وعليه، سوف تجيبنا رسالة تخرج ماستر في فيزياء التطبيقات على الإشكالية المذكورة أعلاه، من خلال خطة العمل التالية:

يهدف الفصل الأول إلى تقديم عرض للخلايا والمواد الكهروضوئية، و مبدأ التشغيل والأنواع المختلفة للخلايا الشمسية.

ويهتم الفصل الثاني بالتمثيلات الكهربائية المختلفة للخلية الشمسية، والاعدادات والعلاقات المتعلقة بكفاءتها.

ثم يعرض الفصل الثالث دراسة وصفية لإحدى أهم محطات الطاقة الشمسية في الجزائر، وهي محطة وادي الكباريت بسوق أهراس، ومن أجل إظهار التطابق بين القيم المرجعية للأداء، التي يحددها المصنعون، والقيمة الحقيقية التجريبية المقاسة على أرض الواقع.

و يتكون الفصل الرابع من جزأين؛ في الجزء الأول سنتعرف على أهم المعادلات الرياضية، التي تمكنك من تحليل أداء الخلايا الكهروضوئية، ومعامل تدهور الأداء، ويهدف الجزء الثاني إلى إظهار تقييم أداء الأنظمة الكهروضوئية بناء على البيانات المقاسة فعليا بمحطة وادي الكباريت.

وننهي بحثنا بخاتمة عامة.

I الفصل الأول:

معلومات عامة عن الأنظمة

الكهروضوئية

في بزوغ القرن الحادي والعشرين، ارتفع معدل تحويل الضوء إلى كهرباء باستخدام الخلايا الشمسية بمعدل يفوق الـ 40% في عام 2000، مما جعلها تتفوق على باقي مصادر الكهرباء التقليدية. تطورت تقنيات تحويل الطاقة لتصبح أكثر كفاءة وتكلفة منخفضة، مما دفع بنمو هائل في هذا القطاع. يهدف هذا الفصل إلى فحص التطورات الحديثة في هذا المجال، بما في ذلك مبادئ التشغيل والأنواع المختلفة من الخلايا الشمسية والمواد المستخدمة فيها.

2.I - مبدأ تشغيل الخلية الكهروضوئية

1.2.I - تاريخ التحويل الكهروضوئي

لوحظ التأثير الكهروضوئي لأول مرة من قبل بيكريل في عام 1839. وذلك من خلال ظهور جهد كهربائي بين قطبين مطبقين على مواد معينة تتعرض للإضاءة، يمكن تعريف الخلية الكهروضوئية على أنها جهاز يولد الشحنات إيجابية وسلبية عن طريق امتصاص الطاقة الضوئية، ويسمح هذا الجهاز من تلقاء نفسه بنقل الشحنات المتولدة ضوئياً في داخله إلى منطقة يوجد بها حاجز محتمل. وفي هذه المنطقة، يتم فصل الشحنات الموجبة والسالبة بفعل المجال الكهربائي الداخلي، و تم تطوير أول خلية شمسية قائمة على السيليكون في مختبرات بيل في عام 1954. كان العائد 6% ولكن سرعان ما زاد إلى 10%. ولسنوات عديدة، ظل التطبيق الرئيسي للخلايا الشمسية في الفضاء حيث انتعش الاهتمام بالاستخدام الأرضي في السبعينيات، و تطور، فضلت صناعة أشباه الموصلات والعديد من التطورات في الخلايا الشمسية في التوسع. [3]

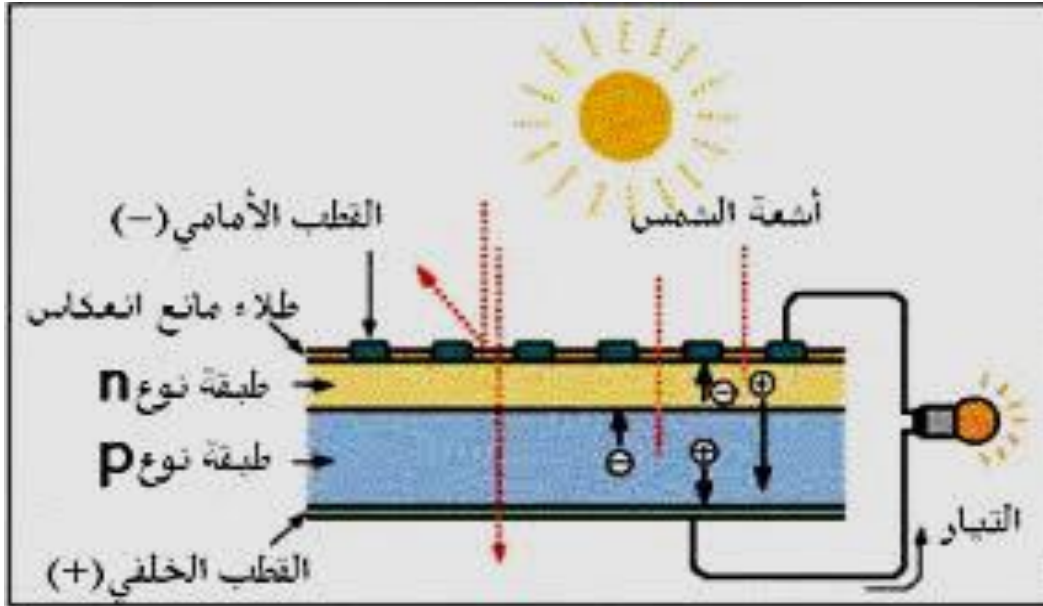
2.2.I - كيف تعمل الخلايا الشمسية الكهروضوئية؟

الخلية الكهروضوئية، والتي تسمى أيضاً الخلية الشمسية، هي العنصر الأساسي للتحويل الكهروضوئي. وهي جهاز مكون من أشباه الموصلات يحول الطاقة الضوئية إلى الطاقة الكهربائية التي يوفرها مصدر لا ينضب من الطاقة الضوئية (الشمس). وهي في ذلك تستغل خصائص مواد أشباه الموصلات [4]. يعتبر الضوء ذو صفة مزدوجة وفقاً لفيزياء الكم، حيث يتم تصوّره بشكل جسيمي وموجي. يُطلق على جسيمات الضوء اسم "الفوتونات"، وهي جسيمات عديمة الكتلة تتحرك بسرعة الضوء. تعتمد طاقة الفوتون على طول الموجة والتردد. في المعادن، يمكن للإلكترونات الحرة التفاعل مع الإلكترونات المرتبطة بالذرات، ولكي يتحرر إلكترون التكافؤ، يجب أن يكون لديه طاقة أعلى من طاقة الربط. يكتسب

الفصل الأول: معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية

الإلكترون الطاقة اللازمة عندما يتصادم مع الفوتون. تُستهلك جزء من طاقة الفوتون لتحرير الإلكترون من تأثير الذرة، وتحوّل الطاقة المتبقية إلى طاقة حركية للإلكترون الحر [5].

التأثير الكهروضوئي المستخدم في الخلايا الشمسية يتيح تحويل الطاقة الضوئية مباشرة إلى كهرباء، حيث يتولى مادة أشباه الموصلات الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة تحت تأثير الضوء. تتكون المادة من جزئين، أحدهما به إلكترونات زائدة والآخر به نقص الإلكترون، على التوالي، من النوع n-doped و p-doped. يتشكل مجال كهربائي بينهما عندما يتلامسان، ويتشكل تقاطع يعرف بـ (p-n). عندما يكون التقاطع مضيئاً، تنتقل الفوتونات ذات الطاقة المناسبة إلكتروناتاً من نطاق التكافؤ، مما يؤدي إلى توليد زوج ثقب إلكترونية. بوجود شحنة على أطراف الخلية، يتحرك التيار الكهربائي بسبب تنقل الإلكترونات عبر الاتصال الخارجي من المنطقة n إلى المنطقة p [6].



الشكل (1.1) هيكل الخلية الكهروضوئية.

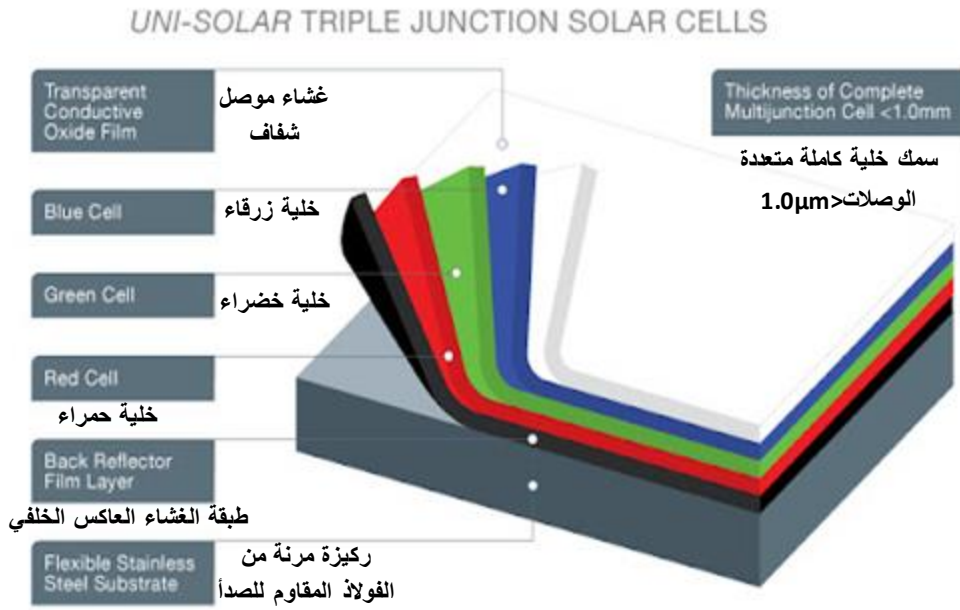
3.I - أنواع الخلايا الشمسية

1.3.I - خلية شمسية من السيليكون غير المتبلور (A-Si)

السيليكون غير المتبلور (a-Si) هو الشكل غير البلوري للسيليكون. ويتعلق هذا الأمر بتكنولوجيا الأغشية الرقيقة الأكثر تطوراً، تتشكل ألواح السيليكون غير المتبلور عن طريق ترسيب بخار ناعم لطبقة من السيليكون - بسماكة 1 ميكرومتر - على مادة أساسية مثل زجاج أو معدن. يمكن أيضاً ترسيب السيليكون غير المتبلور في درجات حرارة منخفضة جداً تصل إلى 75 درجة مئوية، مما يسمح أيضاً

الفصل الأول: معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية

بالترسيب على البلاستيك. في أبسط شكل، يحتوي هيكل الخلية على سلسلة واحدة من طبقات p-in. ومع ذلك، فإن الخلايا أحادية الطبقة تعاني من تدهور كبير في طاقة اخرجها (حوالي 15-35%) عند تعرضها لأشعة الشمس. تسمى الية التدهور هذه بتأثير Staebler-Wronski، الذي سمي على اسم مكتشفه. تظل كفاءة الخلايا الشمسية غير المتبلورة حوالي 7%، وهو معدل كفاءة منخفض و يرجع جزئيًا إلى تأثير Staebler-Wronski، والذي يتجلى في الساعات الأولى عندما تتعرض الألواح للشمس، وينتج عن ذلك انخفاض في كفاءة طاقة لوح السيليكون غير المتبلور من 10% إلى حوالي 7%. [7]



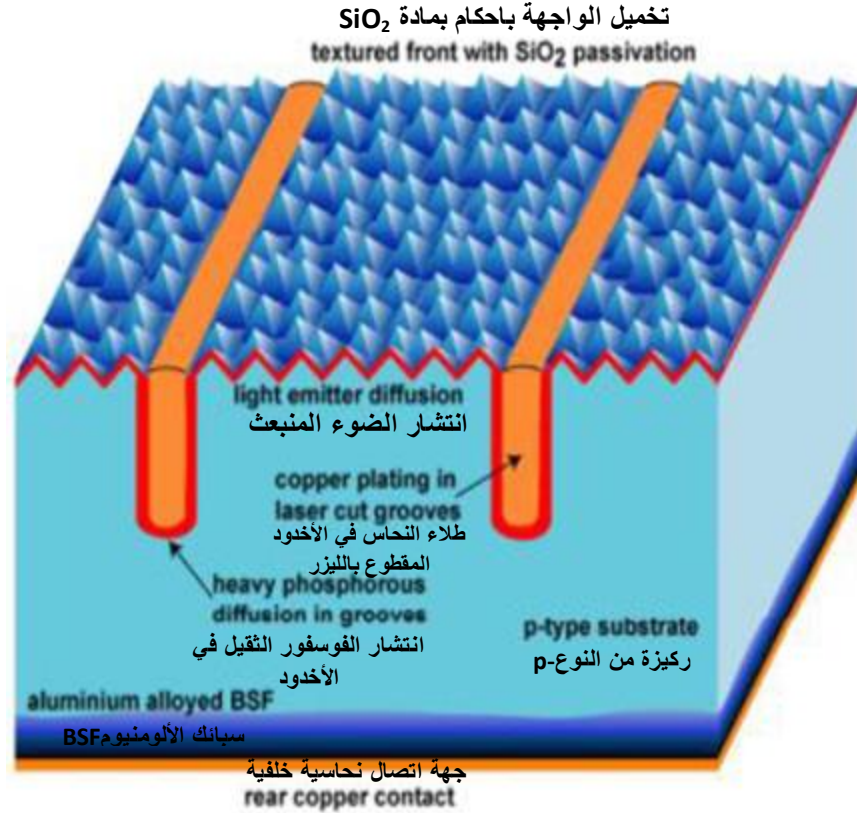
الشكل (2.I) الخلايا الشمسية السيليكونية غير المتبلورة.

2.3.I - الخلايا الشمسية الهجينة الحيوية

الخلية الشمسية الهجينة هي خلية شمسية مصنوعة من توليفة المواد العضوية (النظام الضوئي I) والمواد غير العضوية. ولقد تم صنعها بواسطة فريق من الباحثين من جامعة فاندريلت. استخدم الفريق ملف النظام الضوئي I (مركب بروتيني فعال ضوئيًا يقع في غشاء الثايلاكويد) لإعادة إنشاء العملية الطبيعية لعملية التمثيل الضوئي من أجل تحقيق كفاءة أكبر في تحويل الطاقة الشمسية. هذه الخلايا الشمسية الحيوية الهجينة هي نوع جديد من الطاقة قابلة للتجديد. [8] [9] ان الطبقات المتعددة من النظام الضوئي تجمع طاقة الفوتونات، و تتحول إلى طاقة كيميائية ويخلق تيارًا يمر عبر الخلية.

3.3.I - الخلايا الشمسية المتصلة داخليا

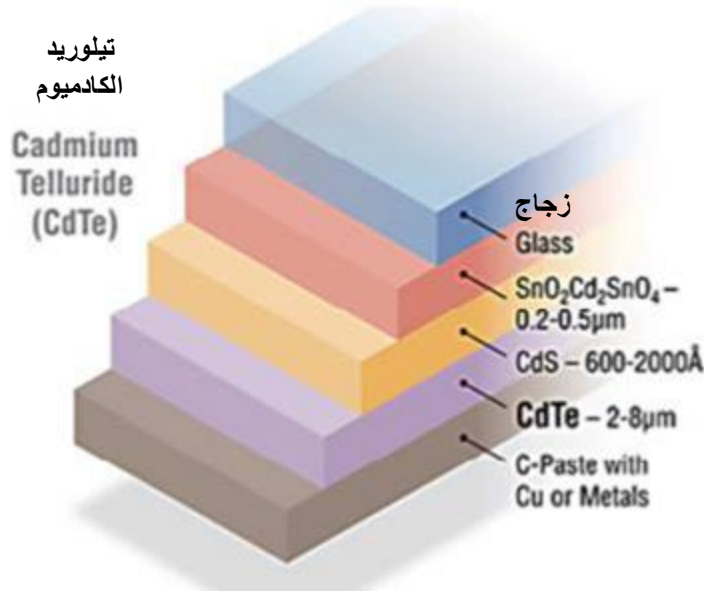
الخلايا الشمسية المتصلة داخليا هي تكنولوجيا متقدمة في مجال الخلايا الشمسية التجارية، حيث تعتمد على توصيل المعدن المطلي داخل الأخدود المشكل بالليزر. هذه التقنية تتغلب على العديد من العيوب، مما يسمح للخلايا الشمسية المتصلة داخليا بتحقيق أداء يصل إلى 25%. [01]



الشكل (3.I) المقطع العرضي للخلية الشمسية المدفونة

4.3.I - الخلية الشمسية تيلوريد الكاديوم (CdTe)

تتميز خلايا الكهروضوئية تيلوريد الكاديوم (CdTe) بتكلفة منخفضة مقارنة بالخلايا السليكون البلورية التقليدية ودورة حياة أقل للكربون واستهلاك أقل للمياه، مما يجعلها تقنية فعالة واقتصادية في مجال توليد الطاقة الشمسية. [2] [3] و تُظهر التكنولوجيا القائمة على CdTe كفاءات شبه بلورية، حوالي 9 - 17%. (وحدة 13% - سجل 18.2%) لكنها تستفيد من التكلفة المنخفضة لكل إنتاج.



الشكل (4.I). رسم بياني يوضح الطبقات الخمس التي تتكون منها الخلايا الشمسية CdTe

5.3.I - الخلايا الكهروضوئية المركزة (CPV) و (HCVP)

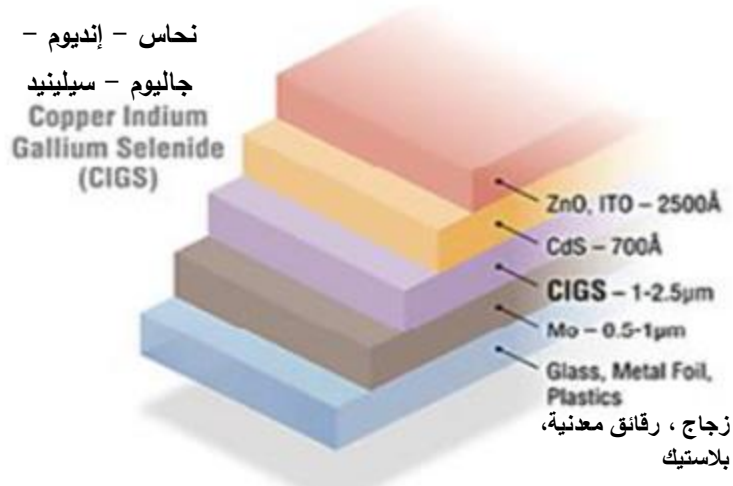
يقوم النظام الكهروضوئي المركز (CPV) بتحويل طاقة الضوء إلى طاقة كهربائية بنفس طريقة التكنولوجيا الكهروضوئية التقليدية، ولكنه يستخدم نظامًا بصريًا متقدمًا لتركيز مساحة كبيرة من ضوء الشمس على كل خلية لتحقيق أقصى قدر من الكفاءة. وهناك تصميمات مختلفة من (PVC)، يتم تمييزها أحيانًا بواسطة عامل التركيز، مثل التركيز المنخفض (LCPV) والتركيز العالي (HCPV). (CPV) هي تقنية كهروضوئية تولد الكهرباء من إضاءة الشمس. على عكس الأنظمة الكهروضوئية التقليدية، فإنه يستخدم العدسات ومرايا منحنية لتركيز ضوء الشمس على خلايا شمسية صغيرة متعددة الوصلات (MJ) فهي فعالة جدًا. بالإضافة إلى ذلك، غالبًا ما تستخدم أنظمة CPV أجهزة تعقب الطاقة الشمسية التبريد لزيادة فعاليتها. [4]

6.3.I - الخلايا الشمسية من نوع : Copper Indium Gallium Selenide (CI (G) S).

تعد خلايا CIGS (نحاس - إنديوم - جاليوم - سيلينيوم) واحدة من أكثر المواد إثارة للاهتمام في مجال الطاقة الشمسية. تشكل هذه الخلايا جزءًا من تقنية الطبقات الرقيقة، وتستخدم لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية. [4]

الفصل الأول: معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية

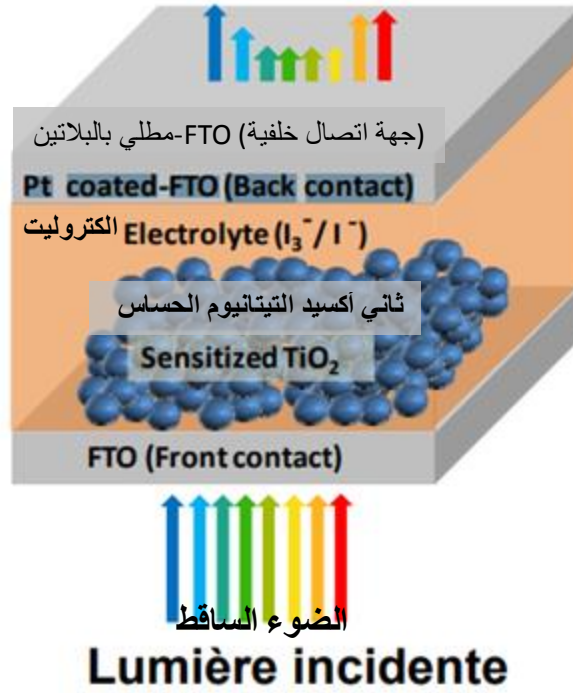
تتميز هذه الخلايا بثباتها وكفاءتها العالية، حيث تتراوح كفاءتها بين 11 - 18% (مع حد أقصى يصل إلى 21.7%). تُصنع بترسيب طبقة رقيقة من النحاس والإنديوم والجاليوم والسيلينيوم على الزجاج أو البلاستيك، وتشتمل على أقطاب كهربائية لجمع التيار. بفضل قدرتها على امتصاص أشعة الشمس بقوة، تُعتبر هذه التقنية بديلاً جذاباً نسبياً بالنسبة للتكلفة مقارنة بطبقات رقيقة أخرى، وتشهد هذه التكنولوجيا نمواً سريعاً.



الشكل (5.I): رسم يوضح الطبقات الخمس التي تتكون منها الخلايا الشمسية (CIGS)

7.3.I - الخلايا الشمسية الصبغية

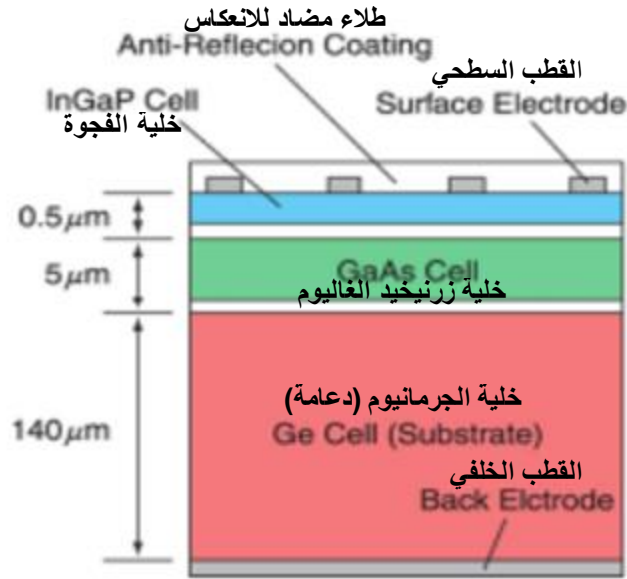
الخلايا الشمسية الصبغية، أو الخلايا الصبغية، هي جيل جديد من الخلايا الكهروضوئية التي تحول كل الضوء المرئي إلى طاقة كهربائية. تُعتبر هذه الخلايا متقدمة وتُشبه الخلايا الاصطناعية في كيفية امتصاص الطاقة الضوئية. تم اختراعها في عام 1991 من قبل البروفيسور Graetzel Michael والدكتور Brian O'Regan في المدرسة الفيدرالية للفنون التطبيقية في لوزان. تعتمد هذه الخلايا على شبه موصل بين أنود حساس للضوء والكتروليت، وهو نظام كهروكيميائي ضوئي. معدل العائد لهذا النوع من الخلايا يتراوح بين 8 - 12%. [16]



الشكل (6.I): الخلايا الشمسية الملونة

8.3.I- خلية شمسية من زرنيخيد الجاليوم (GaAs)

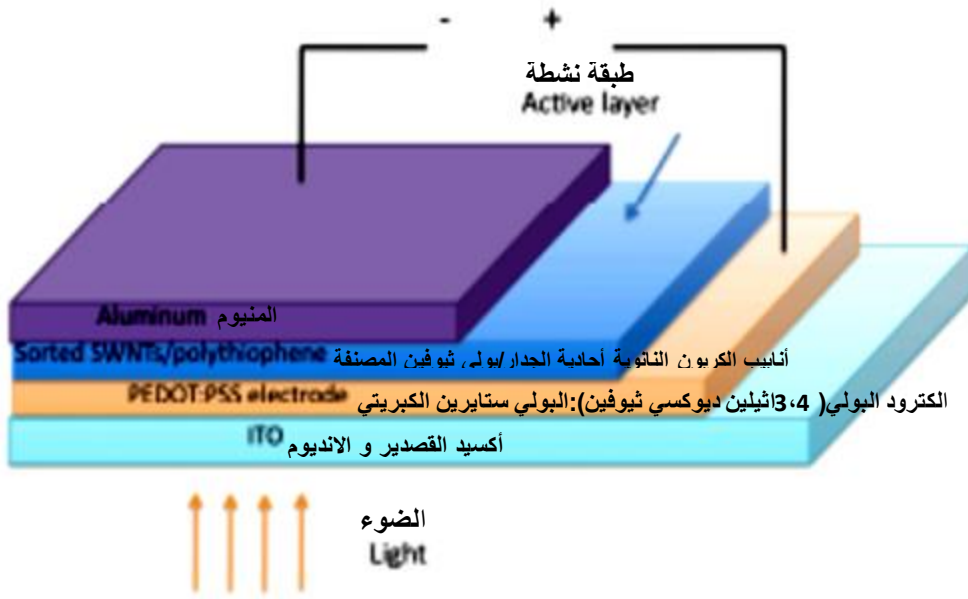
يتكون زرنيخيد الجاليوم من عنصرين أساسيين ؛ الغاليوم والزرنيخ. و يرتبط هاذين العنصران فرديا، مشكلين المركب المذكور أعلاه، والذي يظهر العديد من المميزات، يعتبر من أشباه الموصلات ذات سرعة وحركة إلكترون مشبعة أعلى من السيليكون. وهو مادة لها موصلية كهربائية بين عازل وموصل، و تختلف قدرتها على توصيل الكهرباء عندما يكون الجو بارداً مقارنةً عندما يكون الجو حاراً. وكل هذه المميزات تجعلها مفيدة جدا في العديد من التطبيقات. فهذه الخلية نوعية جديدة أخرى ولديها فجوة نطاق مباشرة. إنها صفة تجعل مركباً قادراً على نقل انبعاث الضوء بشكل فعال [7]. ان شركة Alta Devices الأمريكية المتخصصة في الطاقة الكهروضوئية لتطبيقات الطاقة العالية النطاق، كشفت عن عائد تحويل قدره 31.6% تم الحصول عليه في المختبر من الخلايا الشمسية في تقنية GaAs مزدوجة الوصلة بدون تركيز.



الشكل (7.I): رسم تخطيطي مقطعي لـ InGaP / GaAs / Ge.

9.3.I- الخلايا الشمسية الهجينة

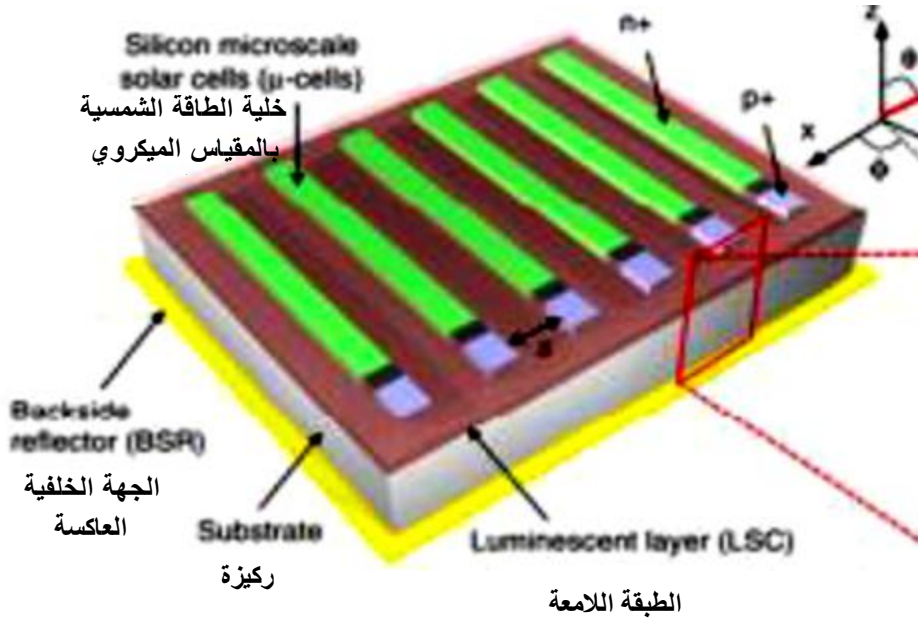
الخلايا الشمسية الهجينة تجمع بين مزايا أشباه الموصلات العضوية وغير العضوية، حيث تحتوي على مواد عضوية مصنوعة من البوليمرات المتقاربات التي تعمل كمانح لامتصاص الضوء وناقل للتقريب. [18] يتم استخدام المواد غير العضوية كمستقبل وناقل للإلكترون في الهيكل. تتميز الأجهزة الكهروضوئية الهجينة بإمكانية معالجة منخفضة التكلفة وتحويل الطاقة بطرق مبتكرة. في هذه الخلايا، يتم خلط مادة عضوية بمادة ذات ناقلية عالية للإلكترون لتشكل الطبقة النشطة ضوئياً. تتفاعل المواد معاً في طبقة ضوئية من النوع غير المتجانس، مما يؤدي إلى زيادة كفاءتها في تحويل الطاقة مقارنة بالخلايا التي تعتمد على مادة واحدة فقط. [19]



الشكل (8.I): هيكل الخلايا الشمسية على أساس الأنابيب النانوية الكربونية.

10.3.I- خلية التركيز الشمسي المضيئة (LSC)

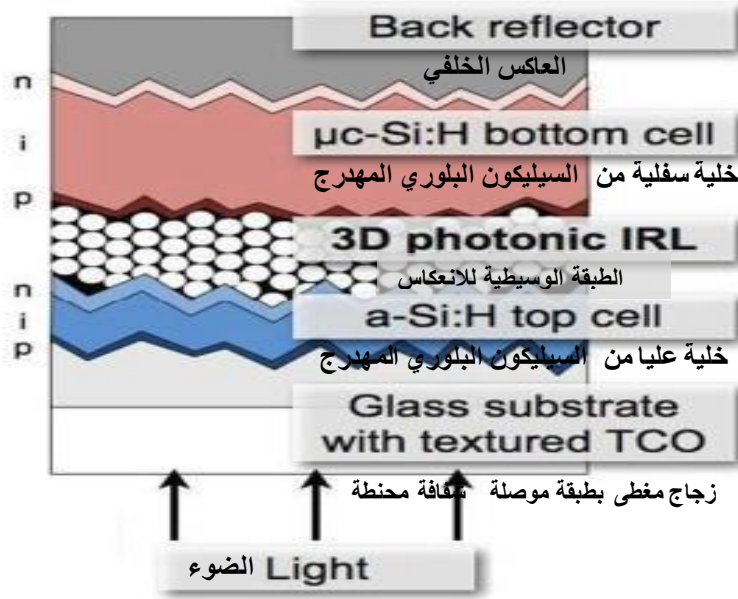
المكثف الشمسي المضيء (LSC) يستخدم ورقة رقيقة من مادة معينة لاحتجاز الإشعاع الشمسي وتوجيه الانبعاث الضوئي نحو الخلايا الشمسية على حوافها. [21]



الشكل (9.I): خلية التركيز الشمسية المضيئة.

11.3.I- الخلايا الدقيقة باستخدام الترادف بين (a-Si / μ c-Si)

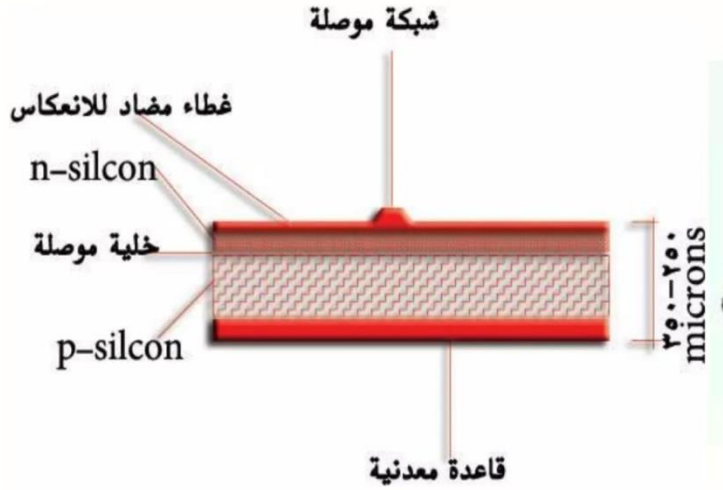
الخلايا المجهرية تعتمد على هيكل متعدد الطبقات، حيث تتكون من خليتين مكستنتين فوق بعضهما، العلوية تمتص الضوء الأزرق والسفلية تمتص الضوء الأحمر، مما يسمح لها بتغطية نطاق أوسع من الطيف الشمسي. باستخدام فجوات النطاق للسيليكون غير المتبلور والسيليكون الجريزوفولفين، يمكن للخلية المجهرية تحقيق كفاءة أكبر من 30٪، ولكن العوائد المستقرة تكون حوالي 9٪، مما يشكل أحد أسباب انخفاض تكلفة الخلايا المجهرية. [20]



الشكل (10.I): بنية تخطيطية لخلية ترادفية من السيليكون الدقيق

12.3.I - الخلايا الشمسية أحادية البلورية (Mono-Si)

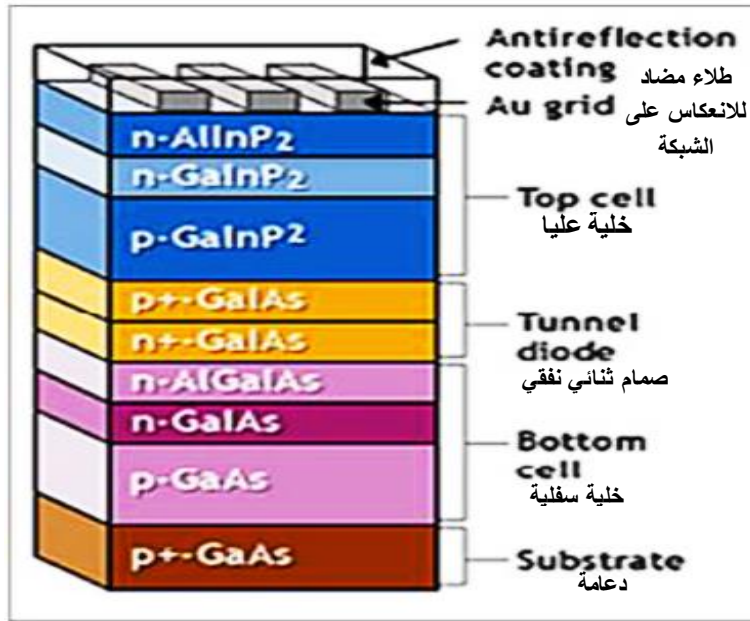
السيليكون أحادي البلورية (أو "السليكون أحادي البلورية"، "أحادي البلورية Si"، "mono c-Si" أو ببساطة mono-Si) هي المادة الأساسية لرقائق السيليكون المستخدمة في جميع المعدات الإلكترونية الحالية تقريباً. تعمل Mono-Si أيضاً كمواد كهروضوئية ممتصة للضوء في تصنيع الخلايا الشمسية. حيث تكون الشبكة البلورية المصنوعة منه صلبة مستمرة، دون انقطاع الحواف وخالية من حدود الحبوب. ويمكن تحضير المركب الجوهري Mono-Si فقط من السيليكون النقي للغاية أو المطعم الذي يحتوي على كميات صغيرة جداً من مواد أخرى لتعديل خصائص أشباه الموصلات. [22] و هي التي لديها أفضل عائد (12-16٪ ؛ حتى 23٪ في المختبر) ، ولكنها تعتبر الأعلى تكلفة بسبب التصنيع المعقد.



الشكل (11.I): هيكل أحادي البلورية للخلايا الشمسية.

13.3.I - خلية شمسية متعددة الوصلات (MJ)

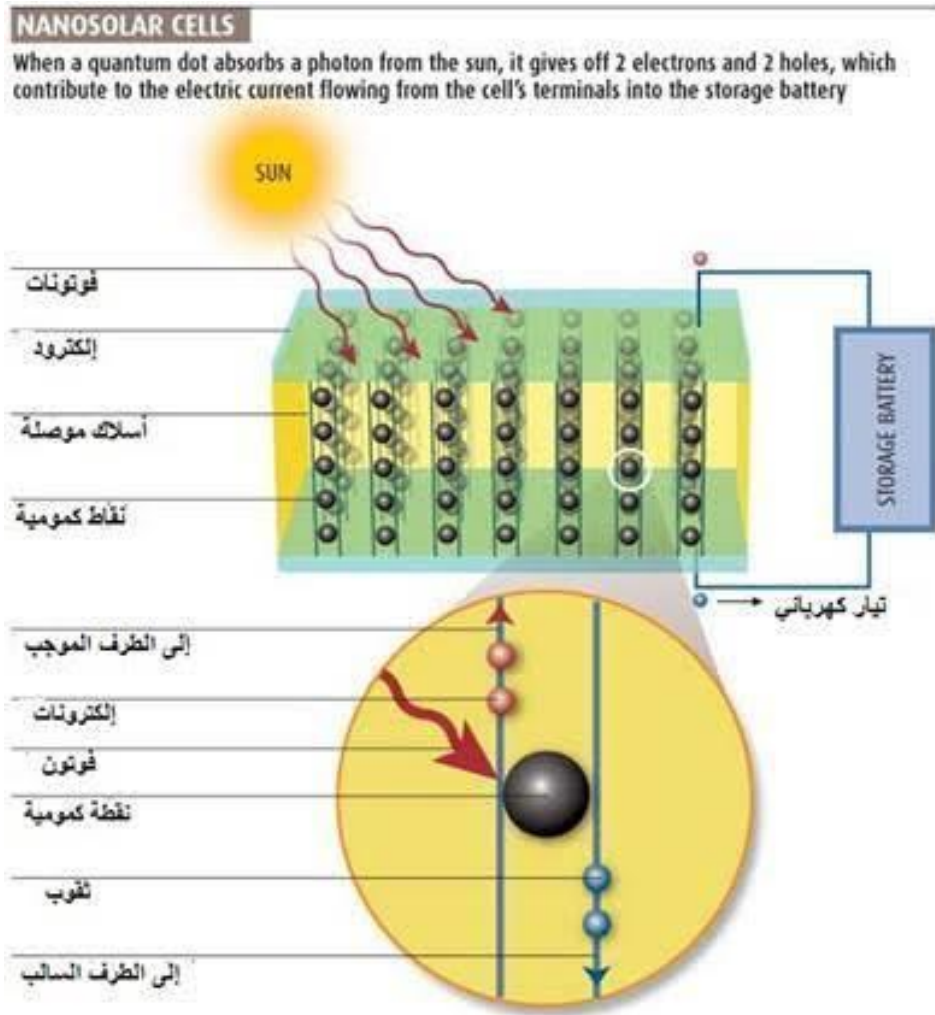
الخلايا الشمسية متعددة الوصلات (MJ, Multi-Junction) تحتوي على تقاطعات p-n متعددة مصنوعة من مواد أشباه موصلات مختلفة، مما يسمح لها بامتصاص أطوال موجية على نطاق واسع لتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بكفاءة عالية. تبلغ كفاءة الخلايا المتعددة الوصلات بشكل نظري 34%، ويمكن للخلايا ذات التقاطعات المتعددة تحقيق كفاءة تصل إلى 86.8% تحت أشعة شمس شديدة التركيز. تظهر التجارب المخبرية أن أفضل الخلايا المتعددة الوصلات قادرة على تحقيق كفاءة تتجاوز 43%، وتصل إلى 30% تحت ضوء الشمس الفردي، مع تحسن يصل إلى حوالي 40% تحت أشعة الشمس المركزة.



الشكل (12.I): خلية متعددة الوصلات.

14.3.I- الخلايا الشمسية النانوية

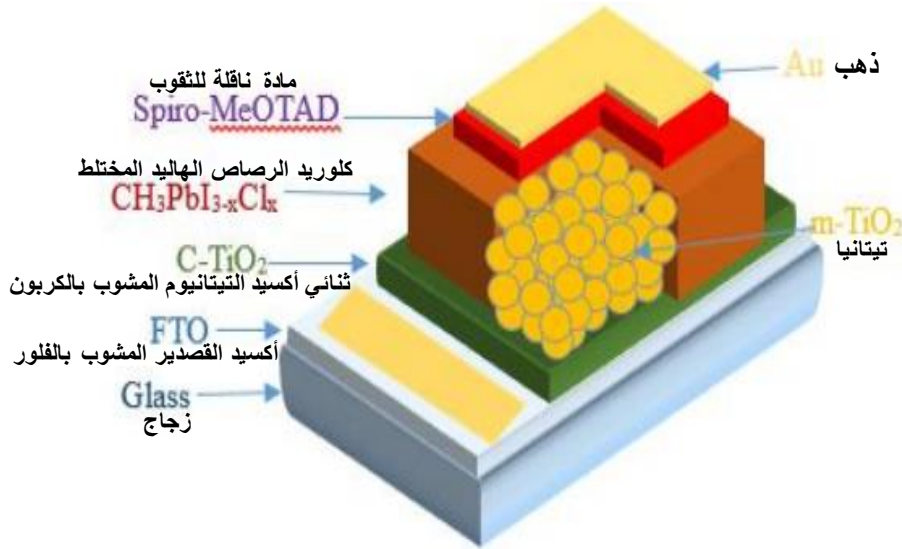
الخلايا الشمسية البلورية النانوية هي خلايا شمسية تعتمد على ركيزة مع طلاء من البلورات النانوية. وتكون البلورات النانوية عادةً من السيليكون أو CdTe أو CIGS وتصنع الركائز عمومًا من السيليكون أو موصلات عضوية مختلفة، وتعد الخلايا الشمسية ذات النقاط الكمومية أحد أشكال هذا النهج، ولكنها تستفيد من تأثيرات ميكانيك الكم لاستخراج المزيد من الأداء، و تعد الخلايا الشمسية الصبغية طريقة أخرى ذات صلة ، ولكن في هذه الحالة تكون الزخرفة النانوية جزءًا من الركيزة. ولقد اعتمدت طرق التصنيع السابقة على عمليات تنضيد الشعاع الجزيئي الباهظة الثمن، لكن التوليف الغروي يسمح بتصنيع أرخص، حيث يتم الحصول على غشاء رقيق من البلورات النانوية عن طريق ما يسمى بعملية "الطلاء الدوراني". يتضمن ذلك وضع كمية من محلول النقطة الكمومية على ركيزة مسطحة، ثم يتم لفها بسرعة كبيرة. ينتشر المحلول بالتساوي ويتم طرد الركيزة بالطرد المركزي حتى يتم تحقيق السمك المطلوب.[25]



الشكل (13.I): الخلايا الشمسية النانوية

15.3.I - خلية شمسية بيروفسكايت

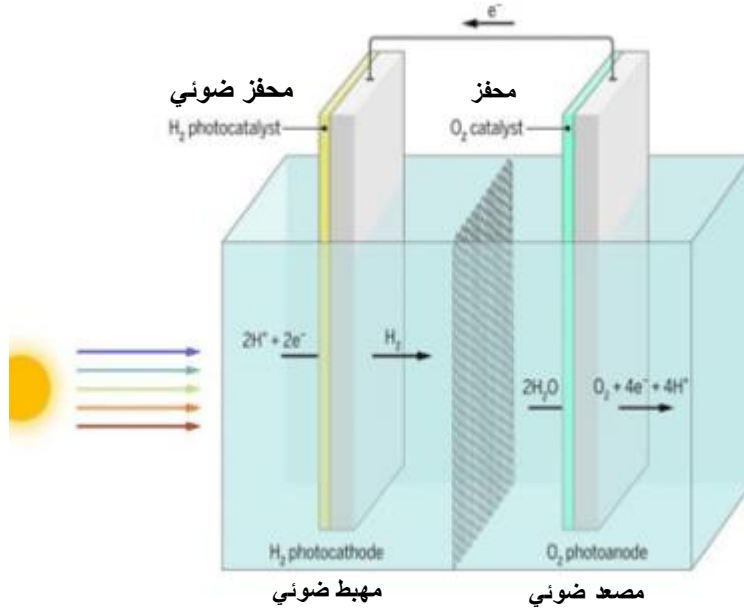
اسم "خلية بيروفسكايت الشمسية" مشتق من التركيب البلوري ABX₃ للمواد الممتصة، والتي تسمى هيكل البيروفسكايت. و أكثر الأنواع امتصاصا للبيروفسكايت شيوعاً هي الرصاص ميثيل أمونيوم ثلاثي الهاليد، مع فجوة نطاق تتراوح بين 2.3 eV و 1.6 eV معتمدة على محتوى الهاليد. [26][27]، وظهرت خلايا البيروفسكايت الشمسية فقط في عام 2012، لكنها سجلت بالفعل تحويلات في الكفاءة تزيد عن 19%. وهذه الوتيرة الخاطفة للتطور غير مسبوقة في مجال أبحاث الطاقة الشمسية.



الشكل (14.I): هيكل خلايا البيروفسكايت الشمسية.

16.3.I - خلية كهروكيميائية ضوئية (PEC)

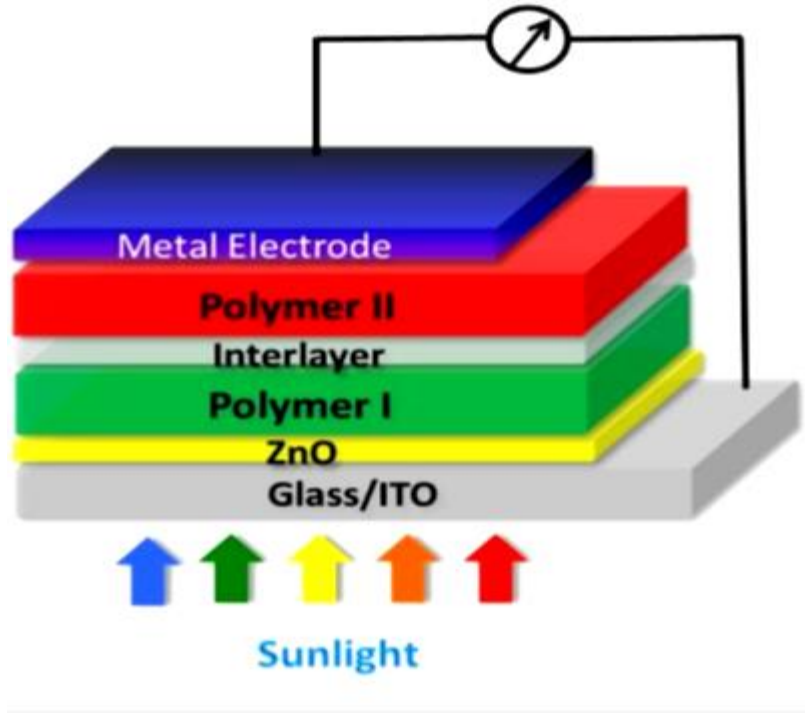
تُعد الخلايا الكهروكيميائية الضوئية (PEC) واعدة لإنتاج الهيدروجين مباشرة بواسطة الطاقة الشمسية، حيث تستخدم الطاقة الضوئية (الفوتونات) لتحفيز تفاعل كيميائي، مثل تقسيم الماء إلى غازي الهيدروجين (H₂) والأكسجين (O₂). تتألف هذه الخلايا من أنود وكاثود مغمورين في إلكتروليت ومتصلين في دائرة خارجية، حيث يكون الأنود أو الكاثود غالباً مصنوعاً من أشباه الموصلات التي تمتص ضوء الشمس، بينما يكون القطب الآخر عادة معدنياً. يمكن لأشباه الموصلات امتصاص الفوتونات ذات الطاقات العالية فوق فجوة النطاق لأشباه الموصلات، مما يؤدي إلى إنشاء أزواج من الثقوب والإلكترونات مفصولة بالمجال الكهربائي في منطقة الشحن الفضائي بين أشباه الموصلات والإلكتروليت. يعكس المجال الكهربائي انحناء النطاق لحواف نطاق التوصيل والتكافؤ على سطح أشباه الموصلات، مما يسهم في توجيه الموجات الحاملة للشحنات إلى القطب المناسب. [20]



الشكل (15.I): خلية كهروكيميائية ضوئية (PEC)

17.3.I - الخلايا الشمسية البوليمرية

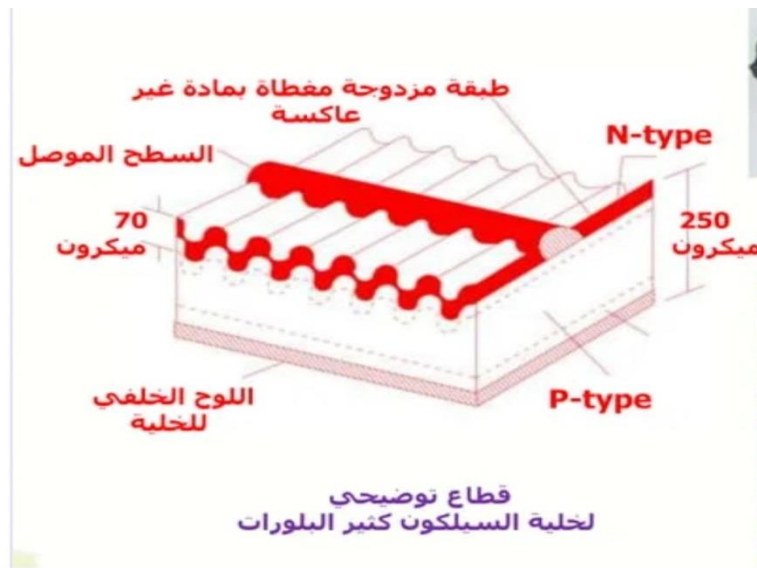
تستخدم الخلايا الشمسية العضوية مواد عضوية مثل البوليمر المترافق لامتصاص ضوء الشمس. وعلى الرغم من اختلافها في التركيب والمواد المستخدمة، فإن المبدأ الأساسي لعمل هذه الخلايا هو نفسه، وهو تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية، والذي يعرف بالتأثير الكهروضوئي. اكتشاف قدرة البوليمرات على توصيل الإلكترونات أثناء التعامل مع المنشطات باليود جعل من الممكن تحضير خلايا شمسية بوليمرية، مما فتح مجالاً جديداً للبحث. ورغم تأخر الخلايا البوليمرية في الأداء والاستقرار مقارنة بالخلايا التقليدية، إلا أن لديها ميزة الإنتاجية من المحلول، مما يعني إمكانية طباعتها أو تغليفها بدلاً من التقنيات الفراغية المكلفة. وقد تم تحقيق كفاءة تصل إلى 10% للخلايا الشمسية البوليمرية حتى الآن. [28]



الشكل 16.I: الخلايا الشمسية البوليمرية.

18.3.I - الخلية الشمسية متعددة الكريستالات (Multi-Si)

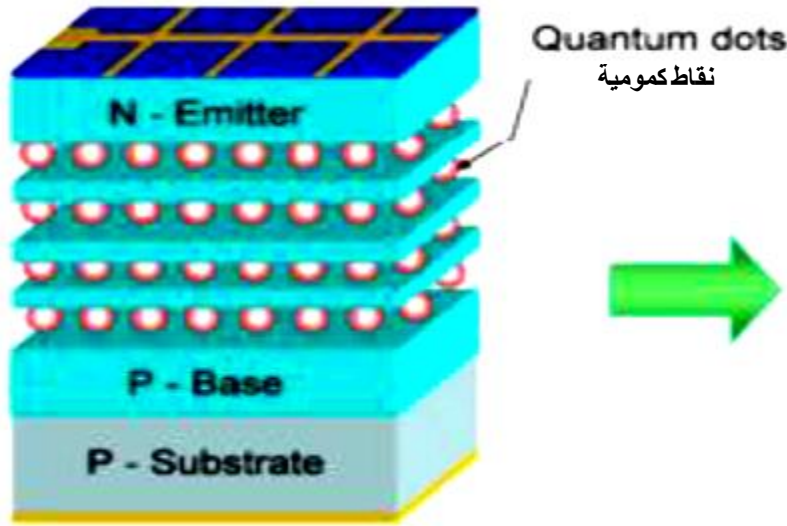
السليكون متعدد الكريستالات، المعروف أيضاً باسم polysilicon أو poly-Si، هو نوع عالي النقاء من السليكون يستخدم كمادة خام في صناعة الألواح الكهروضوئية والإلكترونيات. يتم إنتاجه من السليكون المعدني عبر عملية تنقية كيميائية تُعرف بعملية سيمنز، حيث يتم تحويل مركبات السليكون المتطايرة إلى سيليكون عند درجات حرارة عالية. [29]



الشكل (17.I): خلية شمسية متعددة البلورات (P-Si)

19.3.I - الخلية الشمسية ذات النقاط الكمومية

الخلية الشمسية ذات النقاط الكمومية تستخدم النقاط الكمومية كمادة كهروضوئية ماصة بدلاً من المواد السائبة مثل السيليكون أو CIGS أو CdTe. تتميز النقاط الكمومية بفجوات نطاق يمكن ضبطها بتغيير حجم النقاط، وهو ما يزيد من جاذبيتها للاستخدام في الخلايا الشمسية متعددة الوصلات، حيث يمكن تحسين الكفاءة باستخدام مجموعة متنوعة من المواد لاستيعاب أجزاء مختلفة من الطيف الشمسي. [30] وتشير النتائج إلى كفاءة تصل إلى 7.0% باستخدام هذا النهج. في عام 2014، تم استخدام اليوديد كرابطة غير مؤكسدة لتحسين استقرار الطبقات النوعية n و p، مما زاد من كفاءة الامتصاص وأدى إلى تحسين في كفاءة تحويل الطاقة إلى 8%. [30]



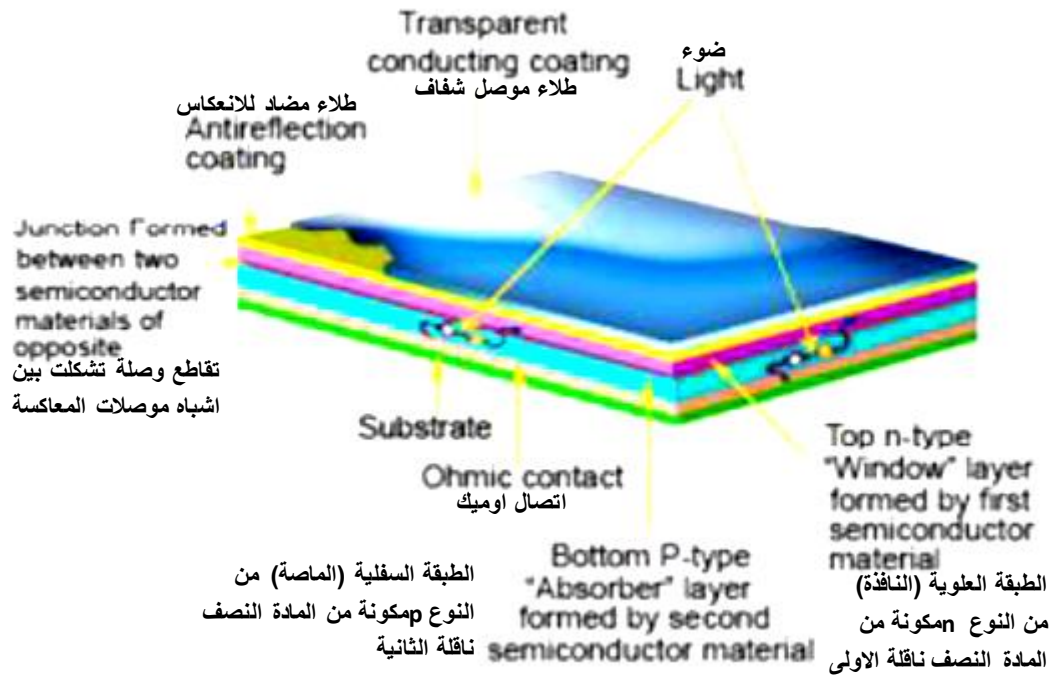
الشكل (18.I): الخلية الشمسية ذات النقاط الكمومية

20.3.I - الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة

الخلية الشمسية ذات الأغشية الرقيقة، المعروفة أيضاً بالخلية الكهروضوئية ذات الأغشية الرقيقة، هي خلية شمسية تتكون من ترسيب طبقة رقيقة واحدة أو أكثر، أو غشاء رقيق من مادة كهروضوئية على ركيزة، مثل الزجاج أو البلاستيك أو المعدن. هذه الخلايا تستخدم العديد من التقنيات التجارية، بما في ذلك تيلورايد الكاديوم (CdTe) وثنائي سيلينيد النحاس والإنديوم والجاليوم (CIGS) والسيليكون غير المتبلور والأغشية الرقيقة الأخرى (a-Si.TF-Si)، وسمك الغشاء يتراوح من بضعة نانومترات إلى عشرات الميكرومترات، وهو أرق بكثير من تقنية الأغشية الرقيقة المنافسة، مثل الخلية الشمسية البلورية من الجيل الأول التقليدي (c-Si)، التي تستخدم رقائق السيليكون حتى 200 ميكرومتر. هذا يسمح لخلايا الأغشية

الفصل الأول: معلومات عامة عن الأنظمة الكهروضوئية

الرقيقة أن تكون مرنة وأخف وزناً وأقل مقاومة، وعلى الرغم من أن الأغشية الرقيقة كانت أرخص ثمناً لكنها أقل كفاءة من تقنية c-Si التقليدية، إلا أنها قد تحسنت بشكل كبير على مر السنين، وتجاوزت كفاءة الخلايا المختبرية لـ CdTe و CIGS الآن 21 %، متجاوزة السيليكون متعدد البلورات، وهو المادة الأكثر استخداماً حالياً في معظم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية. وعلى الرغم من هذه التحسينات، فإن الحصة السوقية للأغشية الرقيقة لم تصل أبداً إلى أكثر من 20% خلال العقدين الماضيين وانخفضت في السنوات الأخيرة إلى حوالي 9% من الإنتاج العالمي للخلايا الكهروضوئية في عام 2013. [32]



الشكل (19.I): بنية الخلايا الشمسية ذات الأغشية الرقيقة

21.3.I- الخلايا الشمسية من السيليكون الأسود

خلايا السيليكون الأسود تشبه الخلايا الشمسية البلورية المصنوعة من السيليكون، لكنها تختلف في تعاملها مع الضوء. يتم معالجة خلايا السيليكون الأسود بحيث تظهر سوداء على السطح، مما يزيد من امتصاص الضوء وبالتالي يزيد من كفاءتها في توليد الطاقة، خاصةً في الأماكن التي تتلقى فيها كميات كبيرة من الضوء. يمكن صنع السيليكون الأسود ببساطة عن طريق إضافة مجموعة كثيفة من الإبر النانوية فوق قطعة قياسية من السيليكون، مما يجعلها أقل انعكاساً للضوء ويزيد من امتصاصها. يعتبر هذا النوع من الخلايا جيداً لزيادة كفاءتها على مدار اليوم، خاصةً في المناطق ذات خطوط عرض عالية، ويمكن أن يكون أرخص للتصنيع نظراً لعدم الحاجة إلى طلاءات مضادة للانعكاس. قد تحققت خلايا السيليكون الأسود كفاءة تصل إلى 4.5% دون تطبيق طبقات التخميل، مقارنة بكفاءة 2.2% التي كانت

معروفة سابقاً، تمكن فريق من الباحثين بقيادة الأستاذ المساعد هيلي سافين من زيادة الكفاءة وتحطيم الأرقام القياسية لخلايا السيليكون الأسود بحوالي 4 نقاط مئوية. [23]



الشكل (20.I): الخلايا الشمسية المصنوعة من السيليكون الأسود.

4.I - خاتمة

بشكل مختصر، يتم تصميم المستشعر الكهروضوئي ليكون مشابهاً للصلام الثنائي PN من حيث الهيكل والمواد المستخدمة والظواهر الفيزيائية، ويمكن نمذجة سلوك الخلية الكهروضوئية كتقاطع PN غير مضاء، مما يسمح بفهم التحديات والتطورات الحالية في هذا المجال.

II الفصل الثاني:

خصائص الخلايا

الكهروضوئية

1.II- مقدمة:

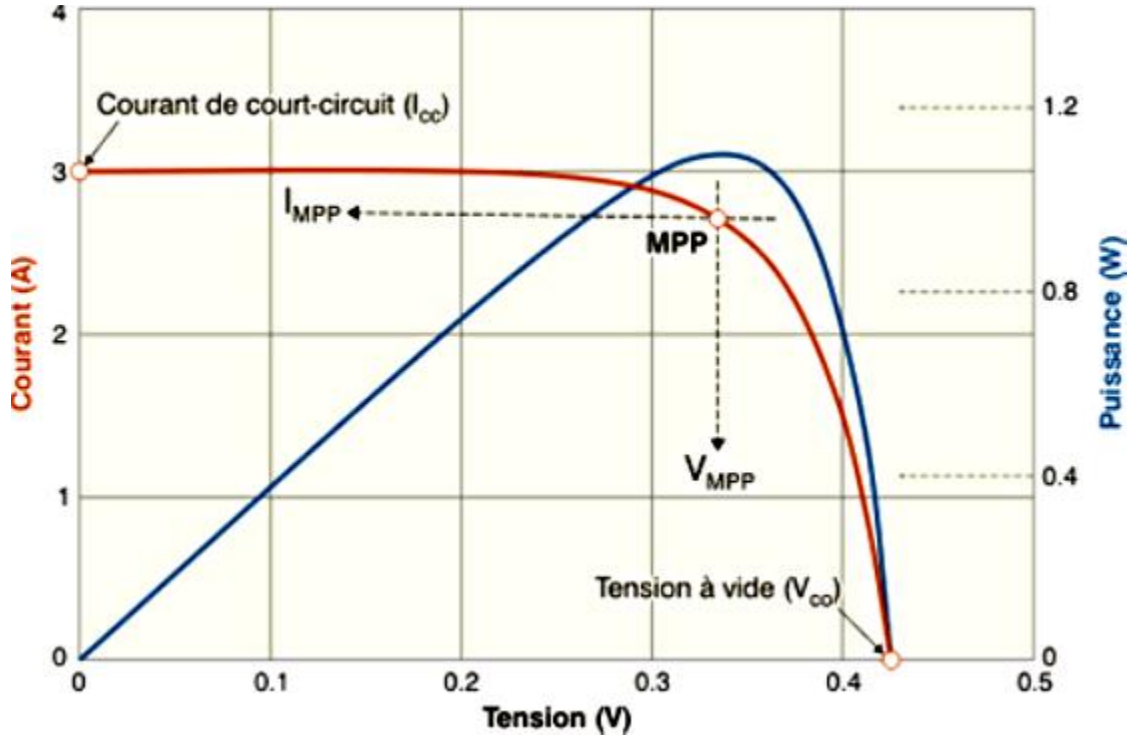
الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، هي التحويل المباشر للطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية، باستخدام الخلايا الشمسية، وبالتالي تعد مصدرا بديلا للطاقة، مثيرا للاهتمام ومناسب تماما للاحتياجات المحدودة. على الرغم من سهولة التنفيذ وتأثيره البيئي المنخفض وقلة الصيانة التي يتطلبها ، لم يعد النظام الكهروضوئي قادرا على المنافسة وخاصة عندما يزداد الطلب على الطاقة، وعليه فانه من الضروري إجراء دراسة صارمة ، لاتخاذ الخيار الأفضل والأكثر كفاءة بأقل تكلفة ممكنة.

يعتمد أداء النظام الكهروضوئي بشكل كبير على ظروف الأرصاد الجوية ، مثل الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة وسرعة الرياح ، و لتوفير الطاقة بشكل مستمر طوال العام ، يجب أن تكون ابعاد النظام الكهروضوئي صحيحة، ومع ذلك فإن المعلومات المقدمة من الشركات المصنعة للمعدات الكهروضوئية، تسمح فقط بتحديد أبعاد النظام بشكل تقريبي.

تعد النمذجة الرياضية للخلايا الشمسية ضرورية لتحسين الكفاءة، أو تشخيص المولد الكهروضوئي، ويتم تمثيل الوحدة الكهروضوئية عموما، بدارة كهربائية مكافئة، من خلالها يمكننا حساب مقاديرها بشكل تجريبي باستخدام خاصية جهد التيار، وهذه المقادير ليست كميات قابلة للقياس بشكل عام، أو مدرجة في بيانات التصنيع، وبالتالي يجب تحديدها من معادلات V-I عند نقاط التشغيل المختلفة التي تقدمها الشركة المصنعة، أو من القياس المباشر على الوحدة الكهروضوئية، وتعد نمذجة هذا الأخير خطوة حاسمة، أدت إلى تنوع في نماذج اقترحها باحثون مختلفون، تكمن اختلافاتهم بشكل أساسي في عدد الثنائيات، ومقاومة التحويل المحدودة أو اللانهائية، وعامل المثالية الثابت أو غير الثابت، بالإضافة إلى الطرق العديدة المستخدمة لتحديد مختلف الاعدادات غير المعروفة.

2.II- الوصف الكهربائي للخلايا الكهروضوئية:

يتم تمثيل أداء الخلية الشمسية من خلال منحنى تغيرات تيار الخلية بدلالة الجهد $I(V)$. يوفر هذا الأخير قراءة واضحة للمعلومات التي تميز الخلية الشمسية مثل كفاءة الخلية وأنواع المقاومة الطفيلية المختلفة وعامل الشكل، و يُقاس التيار كدالة للجهد المطبق في الظلام وتحت أشعة الشمس ، ويسمح الضوء بتحويل منحنى $I(V)$ إلى أسفل في الربع الرابع ، لأن التيار الكهروضوئي يتسبب في إنتاج الطاقة [33]



الشكل (1.II): الخاصية الأولى $I(V)$ للخلية الكهروضوئية.

1.2.II - تيار الدائرة القصيرة: I_{cc}

هو التيار الناتج عن قصر دارة أطراف الخلية ($V = 0$). و يزداد هذا التيار خطياً مع شدة إضاءة الخلية ، ويعتمد على السطح المضيء ، وطول موجة الإشعاع ، وحركة الناقلات ودرجة الحرارة [34].
يمكننا الكتابة:

$$I_{cc(V=0)} = I_{ph} \quad (1.II)$$

I_{ph} : تيار كهروضوئي مولد في الظروف القياسية.

$I_{cc(V=0)}$: تيار الدارة القصيرة .

2.2.II - جهد الدائرة المفتوحة: (V_{co})

يتم الحصول على جهد الدائرة المفتوحة، عندما يكون التيار المتدفق عبر الخلية صفراً، وهو يعتمد على حاجز الطاقة ، وينخفض مع درجة الحرارة، يختلف قليلاً مع شدة الضوء.

يُعطى الجهد V_{oc} بالعلاقة:

$$V_{co} = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{I_{cc}}{I_o} - 1 \right) \quad (2.II)$$

V_{co} : جهد الدارة المفتوحة .

K : ثابت بولتزمان (J/K) $1.38.10^{-23}$

T : درجة الحرارة .

I_{cc} : تيار الدارة القصيرة.

I_o : تيار التشبع العكسي للديود.

3.2.II - الاستطاعة الاعظمية لخلية كهروضوئية

الاستطاعة الاعظمية للخلية الكهروضوئية المضاءة، هي المقدار الأساسي لتقييم أدائها، وتعطى بالعلاقة:

$$P_m = I_m \cdot V_m \quad (3.II)$$

P_m : الاستطاعة الاعظمية .

I_m : التيار الاعظمي .

V_m : الجهد الاعظمي .

النقطة $P_m(V_m, I_m)$ التي تقع عند كوع منحنى I-V تدعى نقطة القدرة القصوى [35].

4.2.II - عامل الشكل (FF)

يتم تعريف FF على أنه أقصى استطاعة للخلية الشمسية الفعلية، على أقصى استطاعة للخلية الشمسية المثالية، و بمرور الوقت يتدهور المنحنى الكهروضوئي، فمن الضروري التحقق بشكل دوري من جودة الخلية، و يتم تحديد جودة الخلية بواسطة عامل التعبئة، بالنسبة للوحة الجيدة ، يكون FF بين

0.7 و 0.8 بينما بالنسبة للوحة السيئة يمكن أن يكون 0.4 [36].

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} I_{cc}} \quad (4.II)$$

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{co} I_{cc}} \quad (5.II)$$

P_m : الاستطاعة الاعظمية .

I_m : التيار الاعظمي .

V_m : الجهد الاعظمي .

V_{co} : جهد الدارة المفتوحة .

I_{cc} : تيار الدارة القصيرة.

5.2.II - المردودية (η)

يتم تعريف المردودية على أنها النسبة بين الطاقة الناتجة من لخلية الشمسية، و الطاقة المستهلكة من الشمس، والمردودية هي المقياس الأكثر شيوعاً المستخدم لمقارنة الأداء بين الخلايا الشمسية، و تعتمد الكفاءة على الطيف الشمسي، وشدة ضوء الشمس، ودرجة حرارة الخلية الشمسية [37].

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{co} \cdot I_{cc}}{P_{in}} \quad (6.II)$$

$$P_{in} = E \cdot S \quad (7.II)$$

P_{in} : استطاعة الحادث (Puissance incidente)

E : الإضاءة.

S : سطح المستشعر

3.II - نمذجة الخلايا الكهروضوئية:

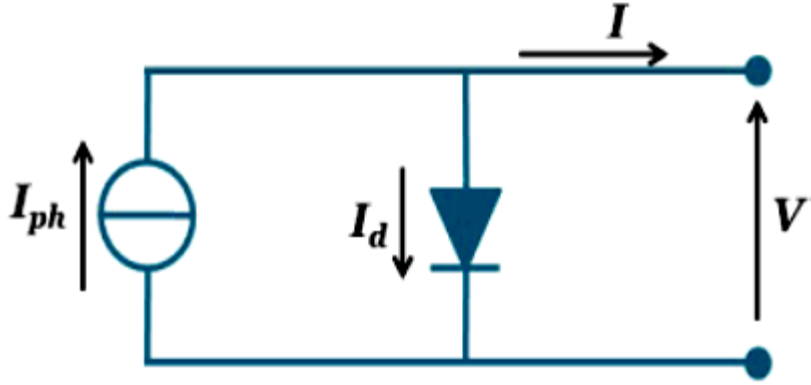
تم تطوير العديد من النماذج الرياضية، لتمثيل السلوك الغير خطي الناتج عن سلوك تقاطعات أشباه الموصلات، التي تشكل الأساس لإنتاج الخلايا الكهروضوئية، و يوجد العديد من النماذج التمثيلية للخلية الكهروضوئية، والتي تختلف عن بعضها البعض، من خلال الإجراء و المقادير المشاركة في حساب الجهد والتيار النهائي للمولد الكهروضوئي.

1.3.II - النموذج الأساسي

مبدأ التأثير الكهروضوئي ليس سوى مبدأ الصمام الثنائي ، لذلك عندما نضيء تقاطع PN ، يتم شحن الخلية بواسطة المقاوم ، نلاحظ ظهور تيار I'' يمر عبر حمولة R_{ch} ، و جهد V'' عبر هذا الحمل [38].

2.3.II - النموذج المثالي

في الحالة المثالية ، يمكن تخطيط خلية تقاطع PN المعرضة للإضاءة الكهروضوئية المتصلة بحمل بواسطة مولد التيار I_{ph} بالتوازي مع الصمام الثنائي الذي يعطي تياراً وفقاً للشكل (2.II) ، والذي يمثل مكافئ الدرة المثالية للخلايا الشمسية [39].



الشكل (2.II): دارة مكافئة لخلية كهروضوئية - نموذج مثالي

من خلال الدارة الكهربية المبينة في الشكل (2.II) التيار الكلي هو مجموع التيار المار بالصمام والتيار المنتج من المصدر الكهروضوئي.

$$I = I_{ph} - I_d \quad (8.II)$$

I: هو التيار الذي توفره الخلية .

I_{ph} : هو تيار كهروضوئي قياسي ، متناسبًا مع الإضاءة ψ ، كما أنه يتوافق مع تيار الدائرة القصيرة I المحدد على النحو التالي:

$$I_{ph} = I_{cc} \left(\frac{\Psi}{1000} \right) \quad (9.II)$$

Ψ : الإضاءة

I_d : يمثل تيار التحيز للصمام ، ويتم إعطاؤه بواسطة:

$$I_d = I_0 \left(e^{\left(\frac{V_d}{V_T} \right)} - 1 \right) \quad (10.II)$$

V_d : جهد الصمام

I_0 : تيار التشبع العكسي للصمام

V_T : جهد ديناميكي حراري محدد بواسطة:

$$V_T = \frac{NKT}{Q} \quad (11.II)$$

N: عامل المثالية للخلية الشمسية

K: ثابت بولتزمان ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$)

q : شحنة الإلكترون ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$)

وهكذا تصبح العلاقة:

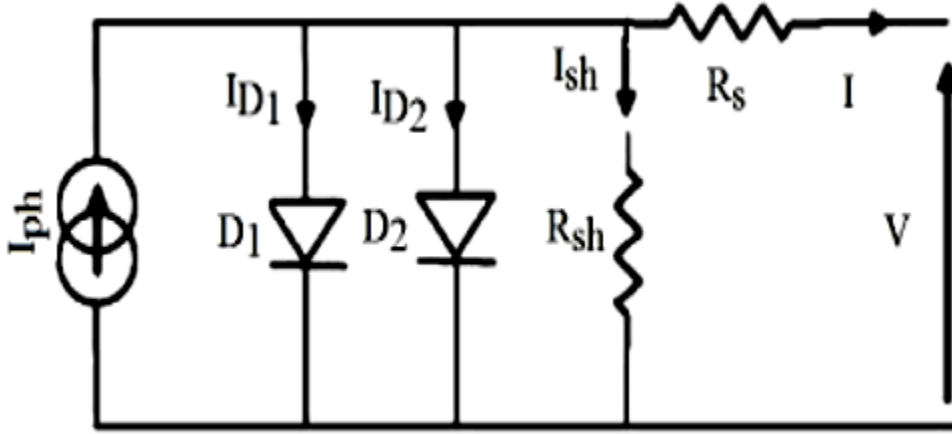
$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\left(\frac{V_d}{V_T} \right)} - 1 \right) \quad (12.II)$$

3.3.II - نموذج ثنائي الصمام:

يتكون هذا النموذج بشكل أساسي من صمامين ضوئيين ، يرمزان إلى إعادة تركيب ناقلات الأقلية ، على سطح المادة من ناحية ومن ناحية أخرى الى حجم المادة، والرسم البياني المكافئ لهذه الدائرة هو على شكل عدة نماذج كما يلي [44].

1.3.3.II نموذج المقادير السبعة (2M7P)

يُعرف أيضًا باسم (2M7P) (Lumped, 2 Mechanism model with 7 Parameters) يمكن نمذجة تشغيل الخلية الشمسية، من خلال النظر في الرسم البياني الكهربائي المكافئ أدناه، الشكل (3.II). وهو يتألف من الوصف الرياضي للدائرة التي يتم إجراؤها عن طريق الاتصال المتوازي للصمامين الثنائيين، لهما تيارات التشبع I_{s1} و I_{s2} ، عامل الصمامين الثنائيين n_1 و n_2 على التوالي، المصدر الحالي ينتج تيار ضوئي قياسي I_{ph} ، والذي يعتمد على الإضاءة الشمسية [44]، و تمثل المقاومة التسلسلية R_s مقاومة المادة ، ومقاومة الأقطاب الكهربائية، والتوصيل مع أشباه الموصلات المعدنية، يتم تحديد قيمتها من خلال عكس منحدر الخاصية $I(V)$ لجهد V يساوي V_{co} . يجب أن يكون هذا المقدار مثاليًا قدر الإمكان للحد من تأثيره على تيار الخلية. يمكن تحقيق ذلك عن طريق تحسين التوصيل بين المعدن / أشباه الموصلات ، وتقليل مقاومة المادة المستخدمة [42]، و يتم تمثيل نموذج ثنائي الصمام بمعادلة تيار ضمني لا يمكن حلها إلا باستخدام طرق تكرارية.



الشكل (3.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الثنائي الأسي ، (2M7P)

يتم استنتاج المعادلة المميزة بطريقة مباشرة من قانون كيرشوف [43]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_{sh} \quad (13.II)$$

I_{ph} : تيار كهروضوئي قياسي

I_{d1} : تيار الصمام الثنائي 1

I_{d2} : تيار الصمام الثنائي 2

I_{sh} : هو تيار المقاوم من التحويل

نظرًا لأن الصمام الثنائي عنصر غير خطي ، فإن خاصية I-V الخاصة به تُعطى من خلال العلاقة

[43]:

$$I_{d1} = I_{s1} \left(\exp\left(\frac{V_d}{V_t \cdot n_1}\right) - 1 \right) \quad (14.II)$$

$$I_{d2} = I_{s2} \left(\exp\left(\frac{V_d}{V_t \cdot n_2}\right) - 1 \right) \quad (15.II)$$

$$I_{sh} = \frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (16.II)$$

$V_t = \frac{k \cdot T_c}{q}$: يمثل الجهد الديناميكي الحراري.

T_c : هي درجة الحرارة المطلقة.

q : شحنة الإلكترون ($1.6 \cdot 10^{-19} \text{C}$)

k : ثابت بولتزمان ($1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$)

I_{sh} : هو تيار المقاومة من التحويل.

يُعطى التيار الكهربائي الناتج عن الخلية بالتعبير التالي [43 ؛ 44].

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{V_t \cdot n_1} \right) - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{V_t \cdot n_2} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_{sh}} \right) \quad (17.II)$$

يتم إعطاء تيار الفوتون المرتبط بالإضاءة ودرجة الحرارة وتيار الفوتون المقاس في الظروف المرجعية بواسطة [43 ؛ 45]:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \left(I_{ph(ref)} - \mu_{cc} (T_c - T_{c(ref)}) \right) \quad (18.II)$$

مع:

$I_{ph(ref)}$: تيار الفوتون تحت شرط مرجعي [A].

μ_{cc} : معامل حساسية الكثافة لدرجة الحرارة. [A / K].

G_{ref} , G : الإضاءة الفعلية وفي الحالة المرجعية. [W / m²].

T_c , $T_{c(ref)}$: درجة حرارة الخلية ، حقيقية وفي الحالة المرجعية.

يتم الحصول على تيارات التشبع I_{s1} و I_{s2} من العلاقات التالية [43،46]:

$$I_{s1} = C_{s1} \cdot T_c^3 \cdot \exp \left(\frac{-E_{gap} \cdot q}{n_1 \cdot T \cdot K} \right) \quad (19.II)$$

$$I_{s2} = C_{s2} \cdot T_c^{3/2} \cdot \exp \left(\frac{-E_{gap} \cdot q}{n_2 \cdot T \cdot K} \right) \quad (20.II)$$

: E_{gap}

الثوابت C_{s1} و C_{s2} بشكل عام بين 150-180 على التوالي AK^3 و $10^{-2} \cdot 1.3-1.7 \cdot A \cdot K^{-5/2}$ لخلية بحجم 100 cm^2 .

ترتبط قيمة عامل المثالية n المختلف عن الوحدة بألية إعادة التركيب السائدة وتعتمد على طبيعة وموقع مستويات المصيدة.

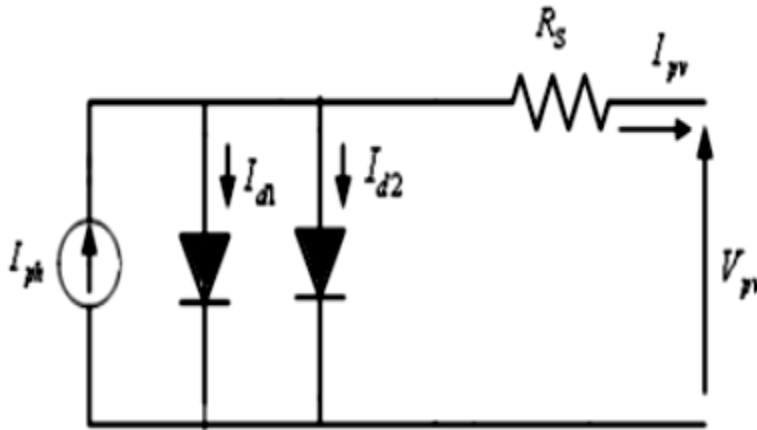
- $n = 1$: مساحة الشحن خالية من السكان (الحالة المثالية).
- $1 < n < 2$: مستوى المصيدة ضحل في منطقة الشحن الفضائي ويعتمد على الاستقطاب [47]

الفصل الثاني: خصائص الخلايا الكهروضوئية

- $n = 2$: يتم توزيع مراكز إعادة التركيب بشكل موحد في منطقة شحن الفضاء وعلى مستوى واحد في منتصف فجوة النطاق.
- $2 < n < 4$: يتم توزيع مراكز إعادة التركيب بطريقة غير موحدة مع كثافة منخفضة في مركز منطقة الشحن الفضائي فيما يتعلق بالسطح. الفجوة: طاقة الفجوة (السيليكون البلوري) 1.12 eV ، السيليكون غير المتبلور 1.7 eV ، CIS 1.03 eV ، CdTe 1.03 eV .

II.3.3.2 - نموذج المقادير الستة (2M6P)

إذا تم اعتبار مقاومة التحويل غير محدودة ($R_{sh} = \infty$) ، يصبح عدد المقادير التي سيتم تحديدها 6 واسم النموذج في هذه الحالة هو (M6P2) (Lumped, 2 Mechanism model with 6 Parameters) [49-48]. و يبرر هذا التبسيط حقيقة أن مقاومة التحويل عادة ما تكون أكبر بكثير من المقاومات الأخرى ، لذا فإن التيار المتدفق خلالها لا يكاد يذكر. ويتكون من الوصف الرياضي للدائرة التي يتم إجراؤها عن طريق الاتصال المتوازي لصمامين ثنائيين لهما تيارات التشبع I_{s1} (المعادلة (19.II)) و I_{s2} (المعادلة (20.II)) ، عوامل الصمامين الثنائيين n_1 و n_2 ، مصدر للتيار الضوئي القياسي I_{ph} (المعادلة (18.II)) التي تعتمد على الإضاءة الشمسية ومقاومة السلسلة R_s ، يتم تمثيل الخلية الكهروضوئية بالدائرة الكهربائية ، الشكل (4.II).



الشكل (4.II) : رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الثنائي الأسي ، (2M6P).

يتم استنتاج المعادلة المميزة بطريقة مباشرة من قانون كيرشوف [49]:

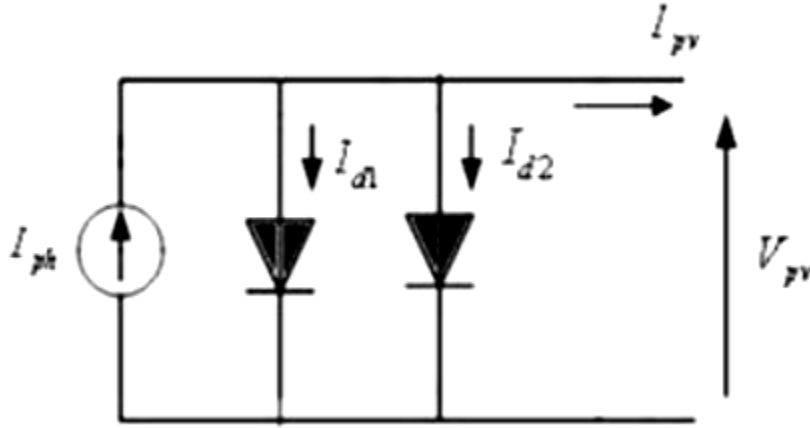
$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} \quad (21.II)$$

يُعطى التيار الكهربائي الناتج عن الخلية بالتعبير التالي:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{V_t \cdot n_1} \right) - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{V_t \cdot n_2} \right) - 1 \right) \quad (22.II)$$

3.3.3.II - نموذج المقادير الخمسة (2M5P)

يتم الحصول على الدائرة المكافئة لهذا النموذج باستخدام تبسيط لدائرة النموذج المكون من ستة مقادير الموضح في الشكل (4.II) واسم النموذج في هذه الحالة هو (2M5P) (Lumped, 2 Mechanism model with 5 Parameters) [48-49]. وينتج عن هذا التبسيط افتراض أن مقاومة التحويل غير محدودة ، وأن المقاومة التسلسلية تساوي صفر.، ويتم تمثيل الدائرة المكافئة على النحو التالي ، الشكل (5.II).



الشكل (5.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الثنائي الآسي ، (2M5P)

يتكون من الوصف الرياضي للدائرة التي يتم إجراؤها عن طريق الاتصال المتوازي لصمامين الثنائيين لهما تيارات التشبع I_{s1} (المعادلة (19.II)) و I_{s2} (المعادلة (20.II)) ، عوامل الصمامين الثنائيين n_1 و n_2 ، مصدر التيار ينتج تيار ضوئي I_{ph} (المعادلة (18.II)) الذي يعتمد على الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة

يتم استنتاج المعادلة المميزة بطريقة مباشرة من قانون كيرشوف:

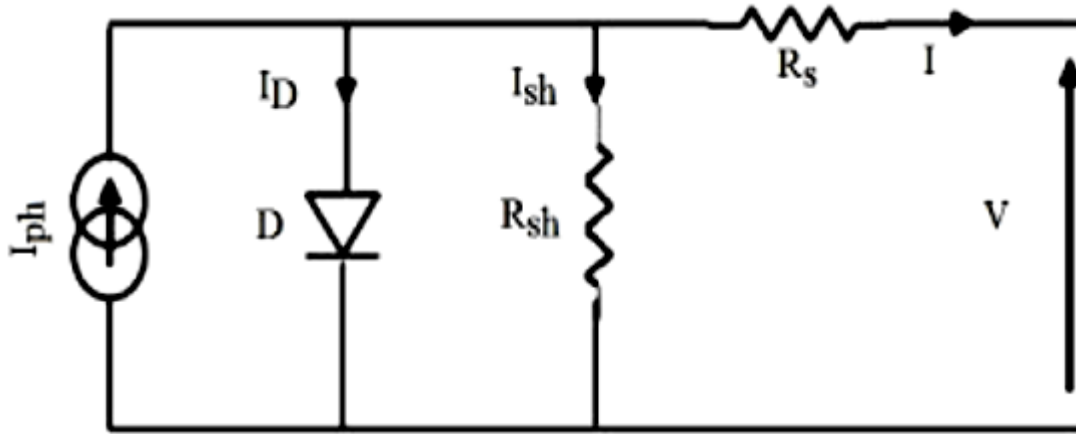
$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} \quad (23.II)$$

يُعطى التيار الكهربائي الناتج عن الخلية بالتعبير التالي [49]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{s1} \left(\exp \left(\frac{V_{pv}}{V_t \cdot n_1} \right) - 1 \right) - I_{s2} \left(\exp \left(\frac{V_{pv}}{V_t \cdot n_2} \right) - 1 \right) \quad (24.II)$$

4.3.II - نموذج أحادي الصمام

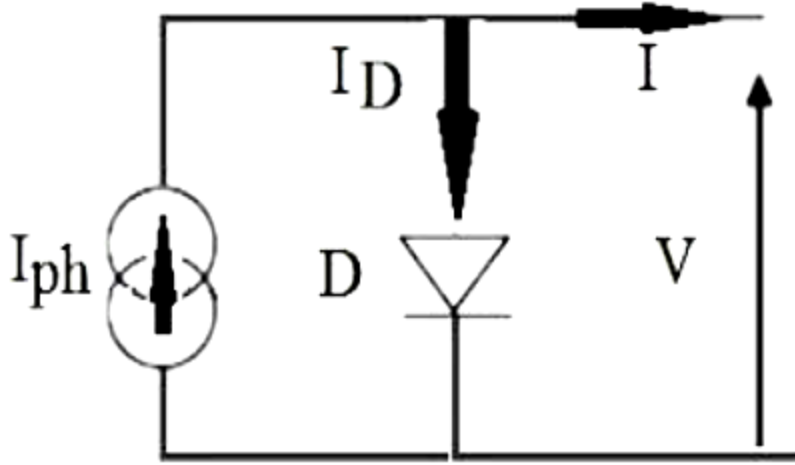
يتم وصف تشغيل الوحدة الكهروضوئية بواسطة النموذج "القياسي" أحادي الصمام الذي أنشأته شركة Shocky لخلية كهروضوئية واحدة. ثم يتم تعميمها على الوحدة النمطية الكهروضوئية من خلال اعتبارها مجموعة من الخلايا المتماثلة المتصلة في سلسلة أو على التوازي [54].



الشكل (6.II): رسم تخطيطي مكافئ لنموذج الصمام الثنائي الواحد.

1.4.3.II - نموذج ثلاثي المقادير (L3P)

يمكن وصف الخلية الكهروضوئية ببساطة بأنها مصدر تيار مثالي ينتج تيار I_{ph} (المعادلة (18.II)) يتناسب مع طاقة الضوء الساقط ، بالتوازي مع الصمام الثنائي الذي يتوافق مع منطقة الانتقال PN للخلية الكهروضوئية. يُعرف أيضًا باسم (L3P) (Lumped, 1 Mechanism model with 3 Parameters) [49-50]. بالنسبة للمولد الكهروضوئي المثالي ، فإن الجهد عبر المقاوم يساوي الجهد عبر الصمام الثنائي، ويمثل الرسم التخطيطي الكهربائي المكافئ للخلية الكهروضوئية لهذا النموذج في الشكل (7.II)



الشكل II 7: رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الآسي ، L3P.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (25.II)$$

يعتبر الصمام الثنائي عنصراً غير خطي ، ويتم إعطاء خاصية I-V الخاصة به من خلال العلاقة [49]:

$$I_d = I_s \left(\exp\left(\frac{V_d}{V_t}\right) - 1 \right) \quad (26.II)$$

التيار المسحوب يعادل:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(\exp\left(\frac{V_{pv}}{V_t \cdot n}\right) - 1 \right) \quad (27.II)$$

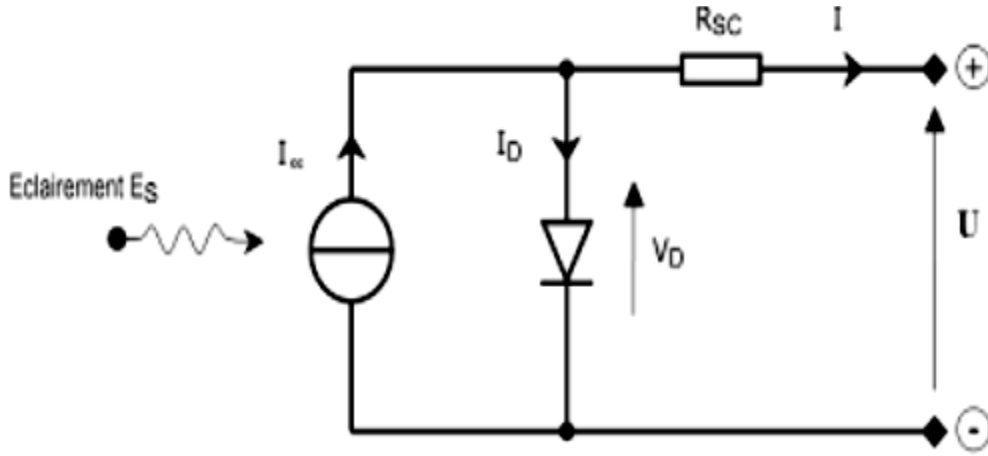
يفترض أن تيار تشبع الصمام الثنائي يختلف باختلاف درجة الحرارة وفقاً للتعبير [51 ؛ 52]:

$$I_s = I_{s(ref)} \cdot \left(\frac{T_c}{T_{c(ref)}}\right) \cdot \exp\left(\left(\frac{q \cdot E_{gqp}}{n \cdot K}\right) \cdot \left(\frac{1}{T_{c(ref)}}\right) - \left(\frac{1}{T_c}\right)\right) \quad (28.II)$$

II.2.4.3 - نموذج رباعي المقادير (L4P)

النموذج المكون من أربعة مقادير هو نموذج مستخدم على نطاق واسع ؛ تمت دراسته من قبل تاونسند [49]، ويتعامل هذا النموذج مع الخلية الكهروضوئية كمصدر تيار ، يعتمد على الإضاءة ، ومتصل بالتوازي مع الصمام الثنائي وفي سلسلة بمقاومة متسلسلة. ، و المقادير الأربعة التي تظهر في معادلة الخاصية (V) I هي تيار الفوتون I_{ph} (المعادلة (18.II)) ، والمقاومة المتسلسلة - وخاصيتان للديود (المعادلة (23.II)) ، و n. هذه المقادير ليست كميات قابلة للقياس ولا يتم تضمينها عادة في بيانات الشركات المصنعة. لذلك ، يجب تحديدها من أنظمة المعادلات (V) I لنقاط تشغيل مختلفة (مقدمة من

قبل الشركات المصنعة) [53]، ويظهر الرسم التخطيطي الكهربائي المكافئ للخلية الكهروضوئية لهذا النموذج في الشكل (8.II)



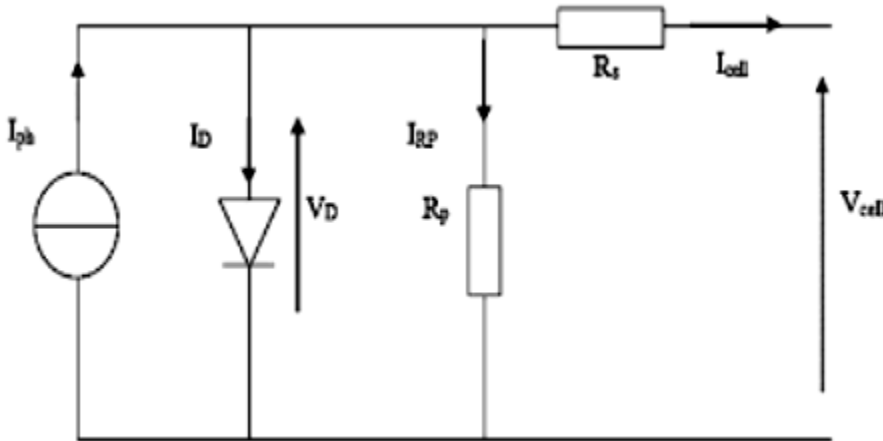
الشكل (8.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الأساسي ، L4P

يُعطى التيار الكهربائي الناتج عن الخلية بالتعبير التالي:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(\exp\left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{V_t \cdot n}\right) - 1 \right) \quad (22.II)$$

3.4.3.II - نموذج خماسي المقادير (L5P)

يتم تمثيل الخلية الكهروضوئية بالدائرة الكهربائية في الشكل (9.II) والتي تتكون من مصدر تيار ينمذج التدفق الضوئي، و يتم نمذجة الخسائر بواسطة مقاومين ، مقاومة التحويل ، و مقاومة التسلسل. يتضمن النموذج بالتالي المقادير الخمسة الغير المعروفة التالية، n ، I_{ph} (المعادلة (18.II)) ، R_{sh} ، R_s و I_s (المعادلة (28.II)). يُعرف باسم L5P ، (Lumped, 1 Mechanism, 5 Parameters) ، [54,49].



الشكل (9.II): رسم تخطيطي مكافئ للنموذج الأساسي ، L5P

يتم استنتاج المعادلة المميزة بطريقة مباشرة من قانون كيرشوف:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (30.II)$$

يُعطى التيار الكهربائي الناتج عن الخلية بالتعبير التالي [54]:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(\exp \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{V_t \cdot n} \right) - 1 \right) - \left(\frac{V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s}{R_{sh}} \right) \quad (31.II)$$

4.II خاتمة:

في هذا الفصل ، أنشأنا دراسة على التمثيلات الكهربائية المختلفة لخلية شمسية، بالإضافة إلى المقادير المتعلقة بأدائها، وتوصلنا إلى أن أكثر نماذج التمثيل الكهربائي، للخلية الشمسية اقناعاً هي نموذج احادي الصمام، و نموذج ثنائي الصمام، ولا يزال يتعين تأكيد أي من هذين النموذجين هو الأكثر دقة.

III الفصل الثالث:

المحطة الكهروضوئية بواد

الكيباريت - سوق اهراس -

1.III - مقدمة:

تعتبر الجزائر من الدول الغنية بالموارد الطبيعية وأهمها الصحراء التي تهيمن على مساحتها، وهذا ما يجعلها مصدر هام للطاقة الشمسية، فالجزائر دولة ناشئة في مجال الطاقة والطاقات المتجددة، وتسعى جاهدة للتوسع في هذا المجال، من أجل ضمان إنتاج طاقة كافية وضرورية، وفي هذا السياق سنحاول أن نتناول في هذا الفصل إحدى أهم محطات الطاقة الشمسية في الجزائر وهي محطة وادي الكباريت بسوق أهراس.، سنقدم ملخصاً تعريفياً وصفياً للمحطة وجميع اجزائها .



الشكل (1.III) محطة واد الكباريت

2.III - الموقع

تقع محطة توليد الطاقة الكهروضوئية وادي كباريت، على قمة تلة على بعد حوالي 70 كلم جنوب غرب سوق أهراس، وتبلغ مساحتها 30 هكتارا، تم تشغيلها اول مرة في 24 أبريل 2016، تنتج هذه المحطة جهد قدره 30 كيلو فولت بقدرة 15 ميغاوات،. ويتكون مصنع الطاقة الكهروضوئية من 60,060 وحدة كهروضوئية من السيليكون متعدد البلورات بقدرة 250 وات تم تصنيعها بواسطة شركة Yingli. ، وتم تصميم هذه المحطة من 15 حقلاً فرعياً، ويتكون كل حقل فرعي من 4044 وحدة كهروضوئية، بقدرة تبلغ 1001 ميغاوات، وتم تجهيز كل حقل فرعي بمحولين مركزيين من ماركة TBEA ومحول تصاعدي.



الشكل (2.III) الموقع الجغرافي

3.III - الوصف الفني

1.3.III - مبدأ التشغيل

يتم تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية، عن طريق ظاهرة التأثير الكهروضوئي بواسطة الألواح الكهروضوئية، بحيث تمتص الضوء وتحول جزء منه إلى حاملات تيار، وتتحرك في اتجاه محدد في مجموعة مدمجة ومتكاملة، وبالتالي الحصول على تيار كهربائي مرتبط بكمية الضوء الشمسي، حيث يتم توصيل الوحدات الكهروضوئية، على التوالي لتشكل سلسلة لزيادة الجهد بواسطة العاكس، ويتم توصيل هذه السلاسل على التوازي في صندوق توصيل لزيادة شدة التيار، أي ان الجهد المنتج منخفض في محطات التوزيع الفرعية (العاكسات / محولات الرفع)، فيتم تحويل التيار المباشر إلى تيار متردد (دور العاكس)، ثم رفعه إلى الجهد المطلوب (دور المحول)، وتجمع الطاقة من محطات التوزيع الفرعية إلى هيكل التوصيل، وتحسب ثم تحقن في شبكة التوزيع العامة.

2.3.III - العناصر الإنشائية للمحطة الكهروضوئية - وادي الكباريت

1.2.3.III - الألواح الكهروضوئية (الوحدات الكهروضوئية)

الوحدات المستخدمة في هذه المحطة هي من الألواح الشمسية متعددة البلورات (YGE60)، تميل هذه الوحدات بزوايا 32 درجة نحو الجنوب، ولقد استخدمت ألواح شمسية كهروضوئية بقدرة 250 وات، والطاقة المتوقعة انتاجها حوالي 15 ميجاوات، أي ما يعادل 60.048 وحدة، حيث تقوم الشركة المصنعة بتثبيت الألواح على شكل مصفوفة (أوتار) كل مصفوفة تحتوي على 44 لوحة، وهذه المصفوفة مقسمة إلى قسمين كل قسم يحتوي على 22 لوحة متصلة على التوالي، بعد تركيب الألواح تم توصيل كل مصفوفتين بالتوازي في صندوق التوصيل، بغرض زيادة التيار.

ملصقة معلومات للوحة

الاعدادات:

النوع: YL250P-29b

المعامل <15%

Voc=37.6V

Isc=8.92A

Umpp=1000V

Impp=15A



الشكل (3.III) خلية ألواح شمسية متعددة البلورات YGE 60 .

2.2.3.III - معدات الاتصال

في الحقول الفرعية يتم ترتيب صناديق التوصيل، لتجميع الكهرياء من كابلات التيار المستمر، وتوصيلها بالعاكسات، مع وجوب مراعات بعض الشروط في صناديق التوصيل وهي:

(أ) الاتصال بعدة دارات للوحات المتصلة على التوالي، والقادرة على تحمل جهد الدائرة المفتوحة.

(ب) تجهيز كابلات التصدير DC بمانعات الصواعق بين الموجب والأرض، والسالب والأرض، والموجب والسالب.

(ج) وجود نظام مراقبة للاستيراد وتصدير التيار والجهد ودرجة الحرارة.

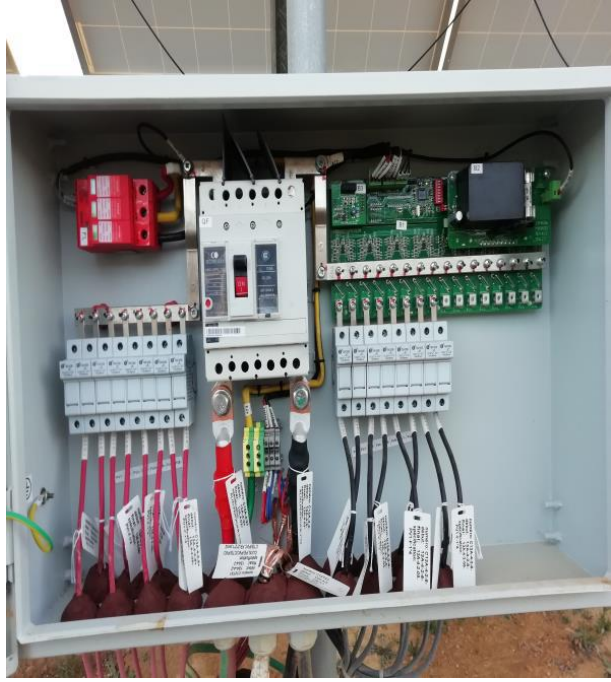
(د) استخدام أدوات الحماية من زيادة التيار، وذلك لحماية المعدات المتصلة بالألواح الشمسية.

1.2.2.3.III - صناديق التوصيل

يجب أن تحتوي صناديق التوصيل على 8 مدخلات (كلا القطبين) سمكها 4 مم²، ومخرجين يصل سمكهما إلى 70 مم²، وتوصيل ارضي لا يقل سمكه عن 16 مم²، بما في ذلك وضع منصهرات على

جميع المدخلات، وتركيب مفتاح فصل عند المخرج ، وواقي من زيادة التيار من الدرجة الثانية ، و مراقب السلسلة.

لوحة معلومات صندوق التوصيل
الاعدادات:
الجهد الاعظمي :1000V
اقصى قيمة لتيار الدخل المستمر: 8 امبير
المنصهرة: 15 امبير
اقصى قيمة لتيار المخرج : 125 امبير
Tension maximum : 1000V
Max. No° de l'entrée DC : 0 8
Fusible : 15 A
Max. courant de sorte : 125 A



الشكل (4.III) صندوق التوصيل.

2.2.2.3.III - الصندوق الفرعي

يجب أن تحتوي الصناديق الفرعية، على منصهرات فاصلة في المدخلات، وقاطع فاصل في المخرج.

لوحة معلومات صندوق التوصيل

الاعدادات:

الاستطاعة المقدرة: 125 كيلواط

اقصى جهد للتيار المستمر: 1000 فولط

اقصى قيمة للتيار المستمر للمخرج: 4 امبير

Puissance nominale : 125KW

Tension maximum DC : 1000V

Max. No° de l'entrée DC :04



الشكل (5.III) الصندوق الفرعي.

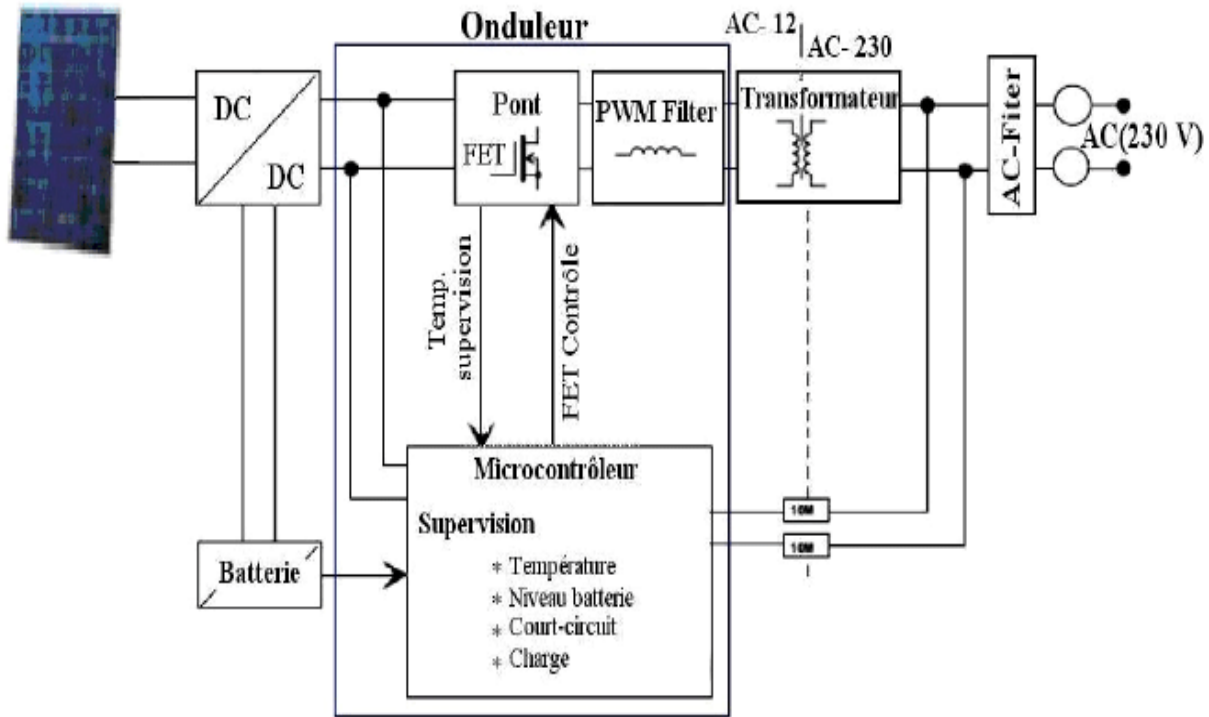
3.2.3.III - العاكس:

هو جهاز يقوم بتحويل التيار المستمر الناتج عن الألواح الكهروضوئية إلى تيار متردد، والذي تم تصنيعه من قبل الشركة المصنعة TBEA، وحسب ما جاء في ملصقة معلومات العاكس المستخدم ان بياناته

كالاتي (MPPT 500v – 820v).



الشكل (6.III) العاكس TBEA



الشكل (7.III) مبدأ تشغيل العاكس

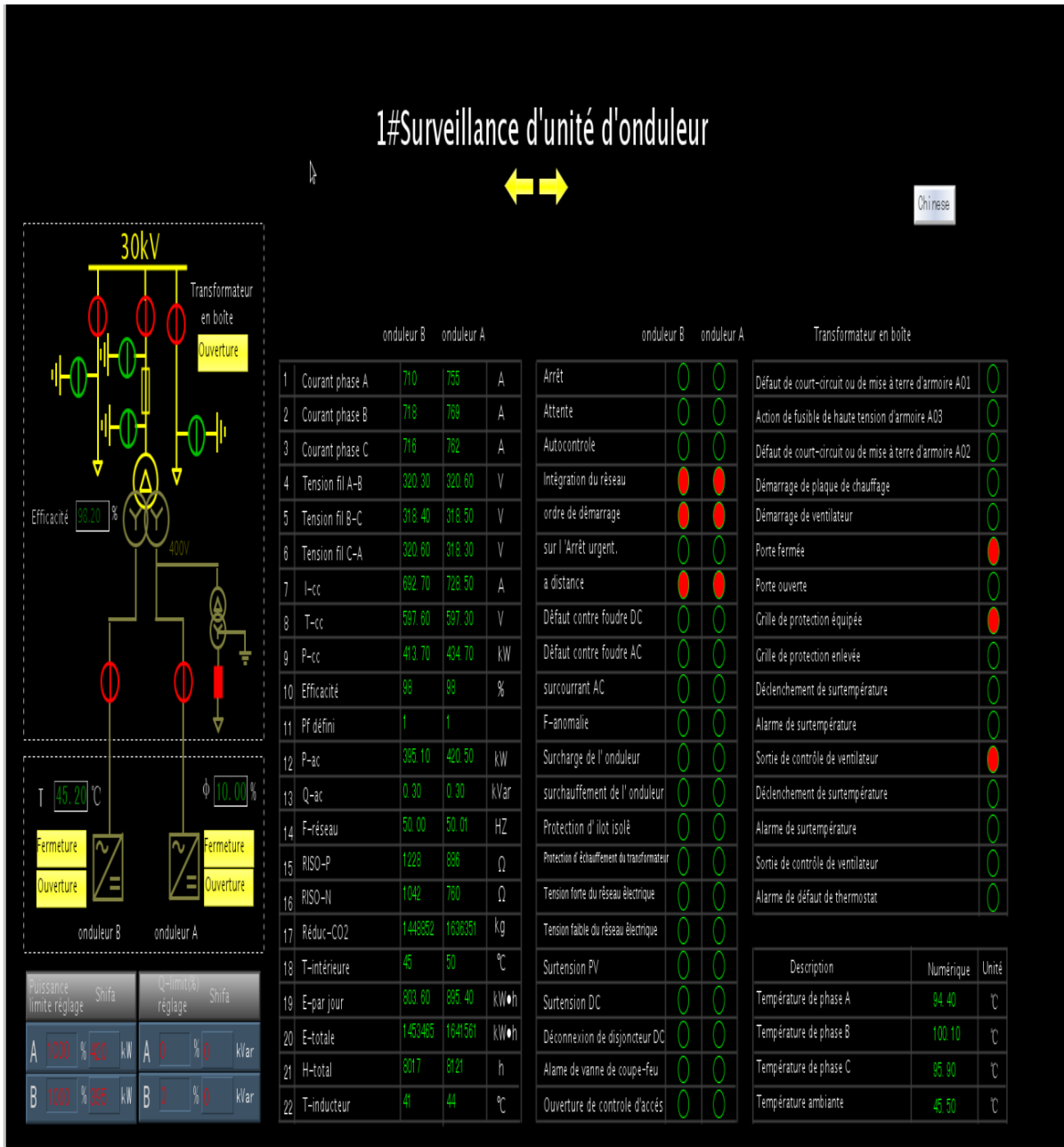
خصائص العاكس

TC1000KS	اسم الموديل
	أدخل (تيار مستمر)
1236 كيلو واط	الحد الأقصى لطاقة (التيار المستمر)
1000 فولط	الحد الأقصى لجهد (التيار المستمر)
1236 امبير	الحد الأقصى لشدة التيار المستمر
500-820 فولط	نطاق الجهد MPPT
20	مخرج (تيار مستمر)

الجدول (1.III). خصائص التيار المستمر المدخل لهذا العاكس.

التيار المتردد المخرج	
1200 كيلو واط	الحد الأقصى لطاقة التيار المتردد
1000 كيلو واط	قوة التيار المتردد الاسمية
315 فولط	الجهد الاسمي
1099 امبير	الحد الأقصى لشدة التيار المتردد
916 امبير	تصنيف التيار المتردد
50.2-49.5 هرتز	نطاق التردد
20	$\cos(\varphi)$ متوسط الجهد التوجيهي

الجدول (2.III). خصائص التيار المتردد المخرج من هذا العاكس.



الشكل (8.III) يوضح حالة العاكس في غرفة التحكم بتاريخ 10-04-2018

4.2.3.III - المحول:

المحول الكهربائي عبارة عن آلة كهربائية تستخدم لتعديل قيم الجهد، وشدة التيار، التي ينتجها مصدر طاقة كهربائية، مثل الألواح الشمسية، ويقوم بتحويل الجهد (HT إلى LV أو LV إلى HT)، وبالنسبة للألواح الكهروضوئية، تم تصميم أجهزة اللف المزوج ذات الجهد المنخفض والمتوسط، لضمان ثبات ممانعاتها الداخلية، بغض النظر عن توزيع القوى التي يوفرها العاكس.



الشكل (9.III). غرفة المحولات

لوحة بيانات المحولات	
القدرة الاسمية	1230 كيلو فولط أمبير
الجهد الاسمي الأساسي	30 كيلو فولط
التردد الاسمي	50 هرتز
الجهد الاسمي الثانوي	الجهد الثانوي 0.315 كيلو فولط

الجدول (3.III). خصائص المحولات.

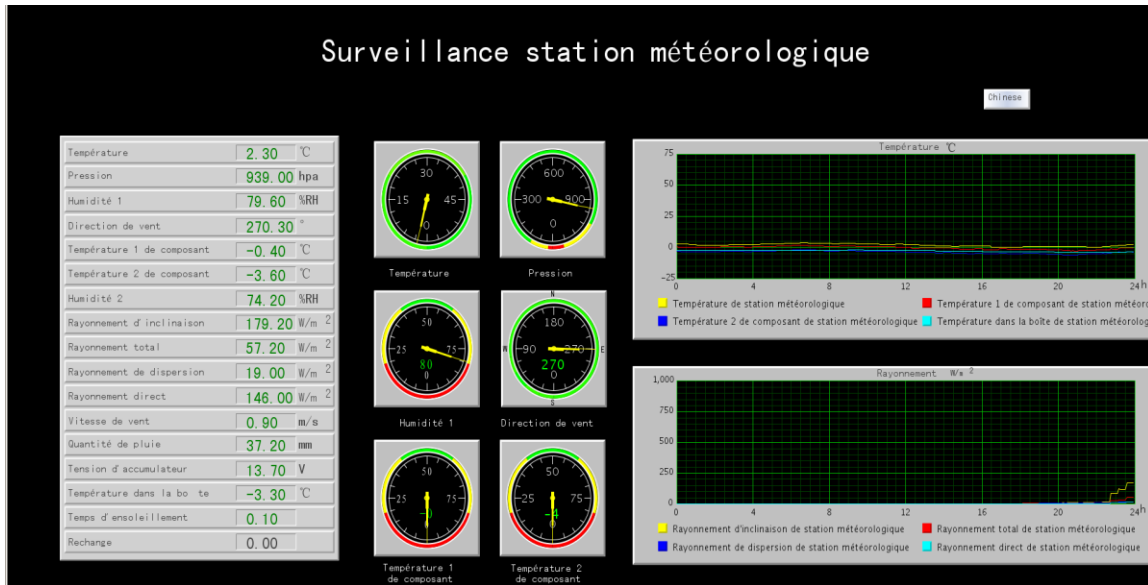
5.2.3.III - محطة الطقس:

هي محطة أرصاد الجوية ضرورية في الموقع، لرصد لتوفير بيانات الطقس على فترات زمنية، وتحتوي هذه المحطة على أجهزة استشعار مثل :

- ميزان حرارة إلكتروني لدرجة حرارة الهواء.
- جهاز قياس الرطوبة لقياس الرطوبة.
- جهاز قياس شدة الريح وريشة الطقس لقياس سرعة الرياح واتجاهها.
- جهاز البيرانومتر لقياس الاشعاع.



الشكل (10.III). محطة الأرصاد الجوية



الشكل (11.III) يوضح حالة الطقس في غرفة التحكم بتاريخ 2017/12/26.

6.2.3.III - محطة الإخلاء

هي الخلية التي تربط محطة توليد الكهرباء بالشبكة، وهي المسؤولة عن عملية الغلق والفتح، والحماية والقياس والتحكم والتأريض، وقطع الاتصال في الوقت المناسب مع الشبكة، لضمان سلامة محطة توليد الكهرباء والشبكة، فالقياس والتحكم هو عملية قياس الكهرباء بأجهزة محولات الجهد والتيار وغيرها، وكذلك هي مصدر للطاقة الداخلية، اي تقوم بتزويد المحول المساعد، وخلية الاختيار بالكهرباء عند التحميل، (إنارة، كهرباء ديناميكية، نظام مراقبة).

لوحة المؤشرات	
36 كيلو فولط	الجهد الاسمي
50 هرتز	تردد الطاقة
70 ك.ف	مستوى العزل
170 ك.ف	جهد مقاومة الصواعق
1250/630 أمبير	التيار الاسمي الوارد/الصادر أ
80/63 أمبير	قدرة الدائرة القصيرة
25/1 KA/s	مقاومة القوس الداخلي IAC AFL-AFLR
0.30 بار	ضغط SF6 نسبة إلى 20 درجة مئوية

الجدول (4.III) خصائص محطة الإخلاء



الشكل (12.III) محطة الإخلاء.

7.2.3.III - غرفة التحكم

هي المكون الرئيسي في المحطة، لأنها هي المسؤولة عن نظام التحكم، ، فهي تخدم عدة وظائف اساسية، مثل التحكم والقياس، والاتصالات عن بعد والحماية، وهي ايضا نظام مراقبة للعاكسات، والمحولات ومقصورات الجهد المتوسط، ومقصورات قواطع الدائرة، وصناديق التوصيل، ومحطات القياس والمحولات المساعدة، وما إلى ذلك.



الشكل (13.III). غرفة التحكم

III.3.3 - مميزات رفع ميل الألواح إلى 32 درجة:

وفقاً لاختبارات عامل التركيب، تم التوصل إلى أن الميل الأمثل للألواح لتحقيق الأداء الجيد سيكون 32 درجة وأنه سيضمن أيضاً:

- ✓ الحفاظ على التوجه.
- ✓ المقاومة ضد الرياح وغيرها من الأحوال الجوية السيئة.
- ✓ المقاومة ضد الهجمات الميكانيكية.
- ✓ الحماية من الأوساخ والعدوان من الأرض؛
- ✓ تهوية الألواح للحد من تسخينها.

III.4 الخاتمة:

تم عرض في هذا الفصل، دراسة وصفية لإحدى أهم محطات الطاقة الشمسية في الجزائر، وهي محطة وادي الكباريت بسوق أهراس، وقد تعرفنا على كل مكوناتها الأساسية، الإلزامية من أجل الدراسة القادمة في الفصل الموالي ، لإظهار التطابق بين القيم المرجعية للأدائها التي حددها المصنعون، والقيمة الحقيقية التجريبية المقاسة على أرض الواقع.

IV الفصل الرابع:

تقييم أداء الوحدات

الكهروضوئية بمحطة وادي

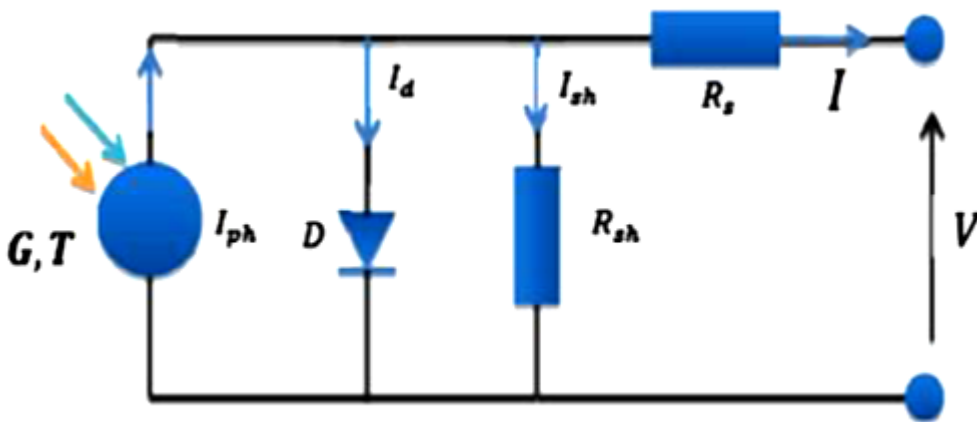
الكياريت

ان الزيادة الإجمالية في الطلب على الطاقة، من اهم العوامل التي ادت إلى تطور الاستخدام المكثف للأنظمة الكهروضوئية، والتي تم تطويرها بنجاح من مواقع صغيرة قائمة بذاتها، إلى منشآت كبيرة متصلة بالشبكة.، وكما نعلم ان هناك العديد من التقنيات الكهروضوئية في السوق اليوم، والمقادير المميزة للوحدات الكهروضوئية ، التي تقدمها الشركة المصنعة بشكل عام ، مختلفة على التي نتحصل عنها في التشغيل الحقيقي، يعد تقييم هذه الاعدادات في ظروف العمل الحقيقية ضرورياً لتحديد الأداء الحقيقي للوحدات الكهروضوئية.، وهذا ما سنطبقه تجريبيا في هذا الفصل، على احد اهم المحطات في الجزائر، محطة واد الكباريت ، والدراسة التي سنجرىها على قياسات حقيقية طيلة سنة 2021 على هذه المحطة، وللقيام بهذا التقييم للأداء، ومقارنته بما تم تحديده من قبل الشركة المصنعة، لابد من معرفة كيفية تحليل أداء الخلايا الكهروضوئية.

2.IV - تحليل أداء الخلايا الكهروضوئية

1.2.IV - المولدات الكهروضوئية

لطالما كانت نماذج الخلايا الكهروضوئية مصدراً لوصف سلوك الخلايا الكهروضوئية، والنموذج الأكثر استخداماً للتنبؤ بإنتاج الطاقة، هو نموذج دائرة احادي الصمام الثنائي [55.56].،و يحتوي هذا النموذج على مصدر تيار I_{ph} ، ويعتمد هذا المصدر على الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة الخلية ، وعلى الصمام الثنائي، الذي يعتمد على تيار التشبع العكسي I_0 بشكل أساسي، وعلى درجة حرارة التشغيل ، ومقاومة التسلسل R_s ومقاومة التحويل R_{sh} [57].



الشكل (1.IV): رسم تخطيطي كهربائي مكافئ للوحدة الكهروضوئية

يمكن كتابة تيار الخرج للخلية الشمسية ، I ، حسب الصيغة:

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1.IV)$$

حيث:

I_{ph} : التيار الكهروضوئي المتولد.

I_d : تيار الصمام الثنائي

I_{sh} : التيار في محطات R_{sh} .

يمكن حساب التيار I_{ph} باستخدام الصيغة التالية:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} (I_{ph(ref)} - \mu_{Icc}(T - T_{(ref)})) \quad (2.IV)$$

G : الإشعاع الشمسي أثناء التشغيل

T: درجة حرارة اللوحة المقاسة

G_{ref} : الإشعاع الشمسي في ظل ظروف قياسية

T_{ref} : درجة حرارة اللوحة في ظل الظروف القياسية

$I_{ph(ref)}$: التيار الكهروضوئي المولد في ظل الظروف القياسية

μ_{Icc} : معامل درجة حرارة تيار الدائرة القصيرة

الظروف القياسية هي الإشعاع الشمسي ودرجة حرارة اللوح وهي على التوالي 1000 W/m^2 و 25 C°

درجة مئوية ، $I_{ph(ref)}$ ، هو التيار التصوري المولد في STC و μ_{Icc} معامل درجة حرارة التيار [58].

صيغة حساب تيار الصمام الثنائي هي:

$$I_d = I_{sat} \left(\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{nV_t}\right) - 1 \right) \quad (3.IV)$$

مع :

I_{sat} : التيار العكسي للديود في حالة التشبع ،

n: عامل مثالية الصمام الثنائي

V_t : الجهد الحراري.

$$I_{sh} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (4.IV)$$

بتعويض المعادلتين (3.IV) و (4.IV) في المعادلة (1.IV) فتصبح :

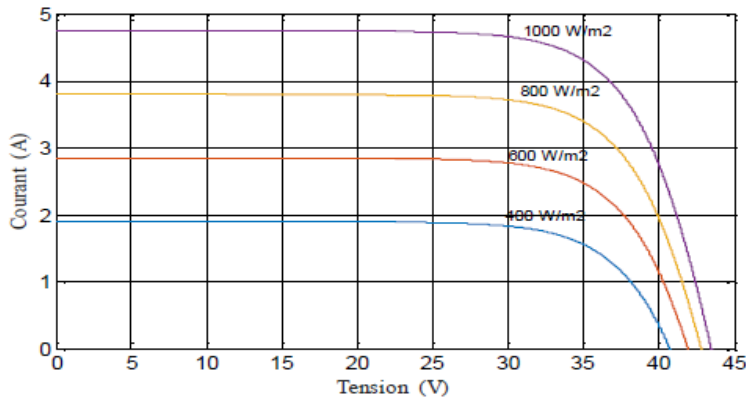
$$I = I_{ph} - I_{sat} \left(\exp\left(\frac{V + R_s \cdot I}{nV_t}\right) - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (5. IV)$$

2.2.IV - مقادير الوحدة الكهروضوئية

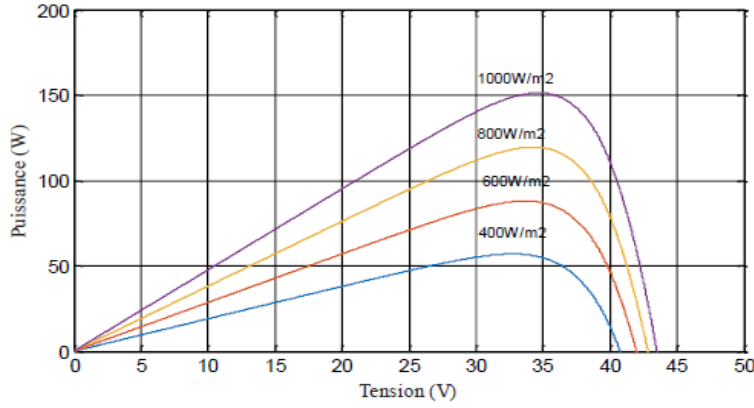
تستخدم طريقة التكرار لنيوتن رافسون، لحل المعادلات غير الخطية والضمنية، وتمت الاعتماد عليها لحل المعادلة (5.IV) [59]، ويعطي مصنعو الوحدات الكهروضوئية قيمة مرجعية للإشعاع، ودرجة الحرارة، مثل STC (شروط الاختبار القياسية)، التي يكون فيها الإشعاع 1000 W/m^2 ، ودرجة حرارة الخلية 25°C درجة مئوية، لكن تختلف ظروف التشغيل الفعلية دائماً عن الظروف القياسية، و تؤثر تأثيرات عدم التطابق أيضاً على القيم الفعلية المتوسطة لهذه المقادير [60].

1.2.2.IV - تأثير الإضاءة على P_{max} ، $V_{co-Module}$ ، $I_{cc-Module}$

بواسطة فوتونات الإشعاع الشمسي يتم تحريك الإلكترونات في منطقة التلامس،، فينتج عن التجاور بين منطقتين من نفس مادة أشباه الموصلات، واحدة من النوع P والأخرى من النوع N، تنطور لتيارات انتشار الثقب حول التقاطع، وتخلق في المنطقة المجاورة مباشرة، حاجز محتمل يعارض تيارات الانتشار لحاملات الأغلبية في كل منطقة، عندما يتم الوصول إلى التوازن، يكون المجال الكهربائي الناتج عن الحاجز المحتمل، كافياً لموازنة تيارات الانتشار لحاملات الأغلبية وحاملات الأقلية، نظراً للعرض الصغير جداً للتقاطع، وبالتالي التيار الكلي للبت صفري، ويمكن اعتبار العملية على أنها مستويات للطاقة في المادة [61]، ويمثل الشكلان (2.IV) و (3.IV) التغيرات في التيار والقوة كدالة للجهد لمستويات مختلفة من الإضاءة عند درجة حرارة ثابتة، ونلاحظ أن قيمة تيار الدائرة القصيرة تتناسب طردياً مع شدة الإشعاع [62]، ومن ناحية أخرى، لا يختلف جهد الدائرة المفتوحة بنفس النسب، فهو يظل متطابقاً تقريباً حتى في الإضاءة المنخفضة [63].



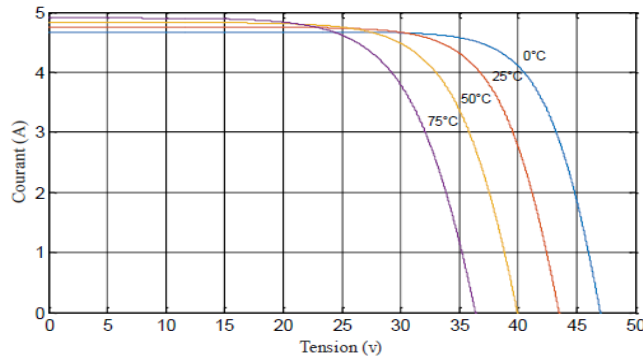
الشكل (2.IV): خاصية I-V للوحدة الكهروضوئية لقيمة إضاءة مختلفة



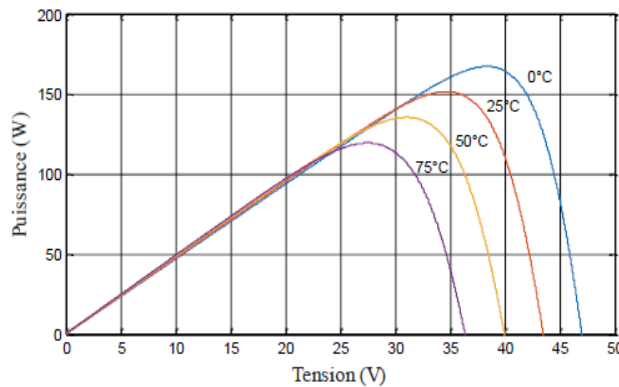
الشكل (3.IV): خاصية P-V للوحدة الكهروضوئية لقيمة إضاءة مختلفة

2.2.2.IV - تأثير درجة الحرارة على P_{max} ، $V_{co-Module}$ ، $I_{cc-Module}$

يوضح الشكلان (4.IV) و (5.IV) منحنيات I-(V) و P-(V) لدرجات حرارة تشغيل مختلفة للوحدة الكهروضوئية عند الإشعاع الثابت $G = 1000 \text{ W / m}^2$ ، فنلاحظ أن درجة الحرارة لها تأثير على قيمة جهد الدائرة المفتوحة، الذي ينخفض عندما ترتفع درجة الحرارة، كما أن الزيادة في درجة الحرارة تؤدي أيضاً إلى انخفاض في الطاقة القصوى المتاحة.



الشكل (4.IV): خاصية I-V للوحدة الكهروضوئية لقيم درجات حرارة مختلفة



الشكل (5.IV): خاصية P-V للوحدة الكهروضوئية لقيم درجات حرارة مختلفة.

3.2.IV - الاستطاعة الفعالة القصوى ومعدل التدهور

يتم حساب معدل تدهور الوحدات الكهروضوئية RD، من خلال تحليل تباين أقصى استطاعة فعالة

P_m^* للوحدة الكهروضوئية

P_m^* تم الحصول عليه باستخدام المعادلة التالية [65,64]:

$$P_m^* = \frac{G^* \cdot P_{DC}}{G} \cdot T_f \quad (6.IV)$$

حيث:

P_{DC} : استطاعة مخرج التيار المستمر للوحدة الكهروضوئية

G : الإشعاع الفعلي

G^* : الإشعاع تحت ظروف القياسية. STC

T_f : العامل الحراري المعطى بالمعادلة التالية:

$$T_f = \frac{1}{[1 + \delta(T_m - T_m^*)]} \quad (7.IV)$$

حيث:

δ : معامل درجة الحرارة للوحدات الكهروضوئية

T_m^* : درجة حرارة الوحدة. تحت ظروف القياسية. STC

❖ حساب معدل التدهور

تم استخدام طريقة الانحدار الخطي لتوليد خطوط اتجاه السلاسل الزمنية الموصوفة بالمعادلة (8.IV) من متوسطات الاستطاعة الشهرية.

$$P_t = x_1 \cdot t + x_2 \quad (8.IV)$$

مع العلم ان:

P_t

x_1 : الميل (الانحدار الخطي)

x_2 : التقاطع مع المحور y

تستخدم الانحدارات (= 12 لأشهر ، 52 للأسابيع) في المعادلة (9.IV) لإعطاء معدل التدهور

$$R \left(\frac{\%}{an} \right) = \left(\frac{x_1 \cdot T_{regress}}{x_2} \right) \quad (9.IV)$$

$$R \left(\frac{\%}{an} \right) = \left(\frac{x_1 \cdot 12}{x_2} \right) \cdot 100\% \quad (10.IV)$$

$\tau_{regress}$: زمن التدهور

RD: هو معدل الانخفاض الأقصى في الأداء بمرور الوقت لنظام كهروضوئي، يتم التعبير عنه بشكل شائع بالنسبة المئوية في السنة [66].

4.2.IV - عامل الشكل:

يعتمد عامل الشكل للخلية الشمسية على مجموعة من المقادير ، ويتم تعريفه على أنه نسبة الطاقة القصوى، إلى الطاقة المحسوبة بضرب جهد الدائرة المفتوحة بتيار الدائرة القصيرة، ويحدد عامل الشكل، جودة الخلية الكهروضوئية، ويتم الحصول عليه بالمعادلة التالية [67].

$$FF = \frac{P_m}{V_{co}I_{cc}} = \frac{V_m I_m}{V_{co} I_{cc}} \quad (11. IV)$$

مع:

V_m و I_m : إحداثيات نقطة الطاقة القصوى.(MPP)

V_{co} : جهد الدائرة المفتوحة للوحدة الكهروضوئية.

I_{cc} : تيار الدارة المغلقة..

5.2.IV - الطاقة الكلية المتولدة من محطة كهروضوئية

يُشار إلى الطاقة الكلية اليومية ($E_{AC.d}$)، والشهرية ($E_{AC.m}$)، التي تنتجها محطة الطاقة الشمسية، وتتم الإشارة إلى إنتاج المحطة بـ EQ [68].

$$E_{AC.d} = \sum_{t=1}^{t=24} E_{AC.t} \quad (12. IV)$$

$$E_{AC.m} = \sum_{d=1}^N E_{AC.d} \quad (13. IV)$$

$E_{AC.t}$: الطاقة المنتجة خلال ساعة .

t : عدد الساعات.

N : عدد الأيام في الشهر.

6.2.IV - تقييم الأداء الكمي

يعتمد أداء النظام الكهروضوئي على الموقع الجغرافي، والإشعاع الشمسي الوارد، وفعالية الطاقة، وخسائر النظام..

1.6.2.IV - أداء الوحدة

أداء الوحدة هو الطاقة المنتجة من الوحدة، مقسومة على الاستطاعة المرجعية للنظام الكهروضوئي، والتي تمثل عدد الساعات التي يستغرقها النظام الكهروضوئي لإنتاج طاقة التيار المستمر المرجعية المعطاة بالمعادلة التالية: [67]

$$Y_A = \frac{E_{DC}(KWh)}{P_{mp.rated}(KW)} \quad (14.IV)$$

Y_A : أداء الوحدة.

E_{DC} : طاقة التيار المستمر التي ينتجها النظام.

$P_{mp.rated}$: الاستطاعة الاسمية للوحدة الكهروضوئية.

2.6.2.IV - الأداء النهائي للوحدة.

الأداء النهائي هو طاقة التيار المتناوب (E_{AC})، مقسومة على الاستطاعة المرجعية للنظام الكهروضوئي، ويمثل عدد ساعات تشغيل الشبكة الكهروضوئية بقوتها الاسمية لتزويد نفس الطاقة. يتم حساب قيمة الأداء النهائي (Y_f) على النحو التالي [96]:

$$Y_f = \frac{E_{AC}(KWh)}{P_{mp.rated}(KW)} \quad (15.IV)$$

Y_f : الأداء النهائي للوحدة.

E_{AC} : طاقة التيار المتناوب التي ينتجها النظام.

$P_{mp.rated}$: الاستطاعة الاسمية للوحدة الكهروضوئية.

3.6.2.IV - الأداء المرجعي للوحدة .

الأداء المرجعي هو إجمالي الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الوحدة مقسومًا على الإشعاع المرجعي للخلية الكهروضوئية ، والذي يمثل عدد الساعات اللازمة لاستقبال الإشعاع المرجعي (الإشعاع الشمسي في ظل الظروف القياسية) [97].

$$Y_r = \frac{H(KWh/m^2)}{G_{STC}(KW/m^2)} \quad (16. IV)$$

Y_r : الأداء المرجعي للوحدة

H : إجمالي الإشعاع الشمسي.

G_{STC} : الإشعاع الشمسي في ظل الظروف القياسية.

4.6.2.IV - نسبة الأداء

تشير نسبة الأداء (PR) إلى التأثير الكلي للخسائر على إنتاج الطاقة للوحدات النمطية للنظام الكهروضوئي، وتشير أيضا إلى مدى قرب نظام الطاقة الكهروضوئية من الأداء المثالي في ظل ظروف التشغيل الفعلية، ويتم تعريفها من خلال النسبة بين الأداء النهائي للوحدة، والأداء المرجعي للوحدة، ويتم التعبير عن نسبة الأداء، بالمعادلة التالية [63]:

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} = \frac{\frac{E_{AC}(KWh)}{P_{mp.rated}(KW)}}{\frac{H(KWh/m^2)}{G_{STC}(KW/m^2)}} \quad (17..IV)$$

PR : نسبة الأداء

Y_f : الأداء النهائي للوحدة.

E_{AC} : طاقة التيار المتناوب التي ينتجها النظام.

$P_{mp.rated}$: الاستطاعة الاسمية للوحدة الكهروضوئية.

Y_r : الأداء المرجعي للوحدة

H : إجمالي الإشعاع الشمسي

G_{STC} : الإشعاع الشمسي في ظل الظروف القياسية.

5.6.2.IV - مؤشر القدرة (CF)

يمكن تعريف مؤشر القدرة لمحطة توليد الكهرباء، على أنه إنتاج الكهرباء الفعلي، مقسومًا على أقصى قدرة إنتاجية ممكنة لمحطة توليد الكهرباء، في فترة زمنية [67].

$$CF = \frac{Y_{fm}(\frac{h}{a})}{\text{عدد ايام الشهر} \times 24} 100\% \quad (18..IV).$$

Y_{fm} : متوسط الأداء النهائي الشهري

7.2.IV - المردود (η)

مردود المجال الكهروضوئي، هو نسبة إجمالي الطاقة المولدة بواسطة الوحدة الكهروضوئية (DC)، أو النظام الكهروضوئي (AC)، $(E_{DC/AC})$ ، إلى ناتج كمية الإشعاع على مستوى الألواح، والسطح العام للمجال الكهروضوئي [63].

$$\eta_{sys} (\%) = \frac{E_{AC} (kWh)}{H \left(\frac{kWh}{m^2} \right) \times A (m^2)} 100\% \quad (19..IV)$$

η_{sys} : مردود النظام الكهروضوئي.

E_{AC} : طاقة التيار المتناوب التي ينتجها النظام.

H : إجمالي الإشعاع الشمسي

A : السطح العام للمجال الكهروضوئي

8.2.IV - ضياع الطاقة

يتميز إنتاج الكهرباء عن طريق التركيب الكهروضوئي، بنقل الحرارة بالحمل الحراري والإشعاع، مما يؤدي إلى فقدان الطاقة، بالإضافة إلى ذلك ، يؤدي التظليل والتشغيل المتقطع للعاكس أيضاً، إلى تدهور الأداء لذلك ، يتم تصنيف هذه الخسائر على أنها خسارة في الوحدة، وخسارة في النظام [76].

1.8.2.IV - الضياع في الوحدة: (L_C)

ترجع خسارة الوحدة، إلى فقدان الالتقاط الحراري، وخسائر الالتقاط المختلفة، ويمكن تعريفه على أنه الفرق بين الأداء المرجعي وأداء الوحدة ، كما هو موضح أدناه [69]:

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (20..IV)$$

2.8.2.IV - الضياع في النظام (L_S)

التشغيل المتقطع للعاكس، والفقدان في عناصر الدائرة السلبية، هي المسؤولة عن ضياع الطاقة النظام، ويمكن تحديدها على أنها، الفرق بين أداء الوحدة، والأداء النهائي للوحدة [76].

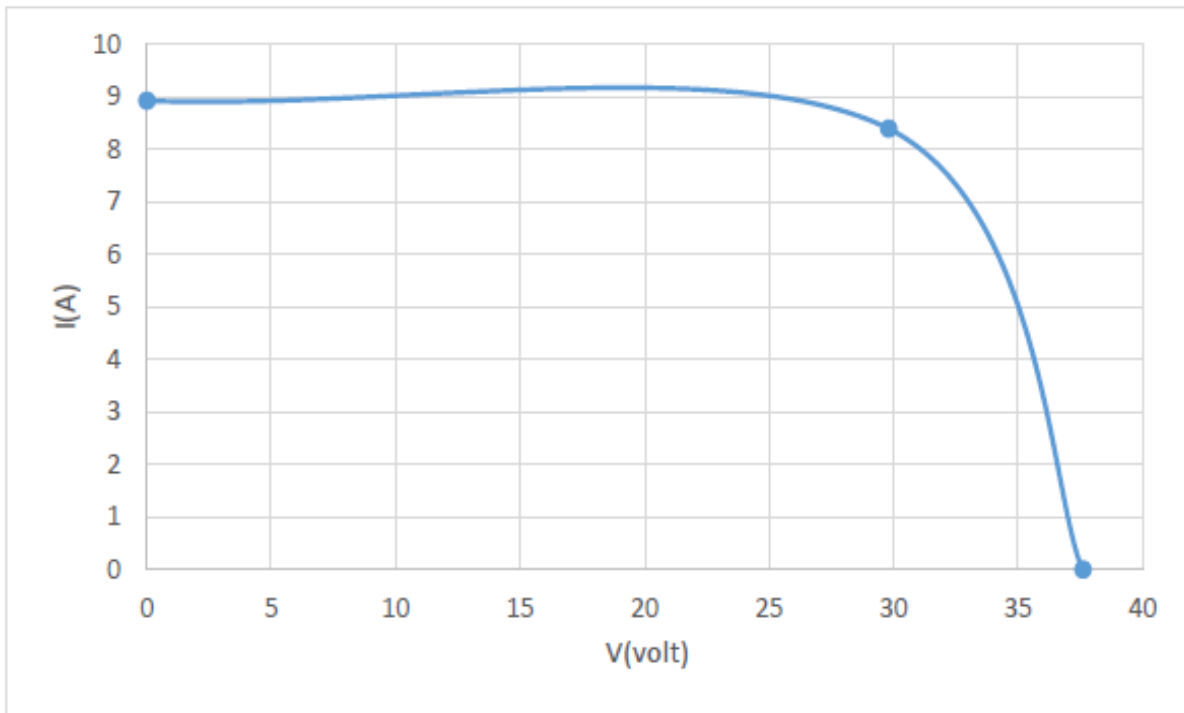
$$L_S = Y_A - Y_f \quad (21..IV)$$

3..IV - تحليل أداء الوحدات الكهروضوئية بوادي الكباريت خلال سنة 2021.

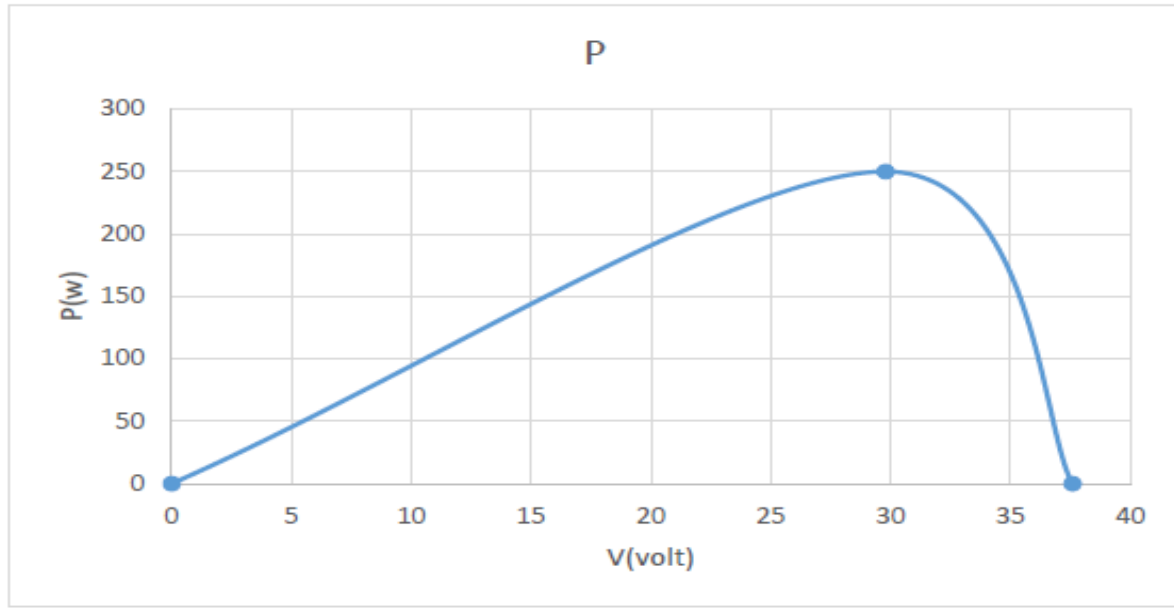
1.3..IV - تحليل معلومات الوحدة الكهروضوئية المستعملة

معلومات الوحدة الكهروضوئية	
250±5	الاستطاعة المقاسة (W)
8.92	$I_{sc}(A)$
37.6	$V_{oc}(V)$
29.8	$V_{MP}(V)$
8.39	$I_{MP}(A)$
60	عدد الخلايا في وحدة الكهروضوئية
1.62	مساحة سطح الوحدة الكهروضوئية (m^2)
74	معامل الشكل (%)
16.40	المردود (%)

الجدول (1.IV) المعلومات الأساسية للوحدة الكهروضوئية



الشكل (6.IV) الخاصية I(V) للخلايا الكهروضوئية



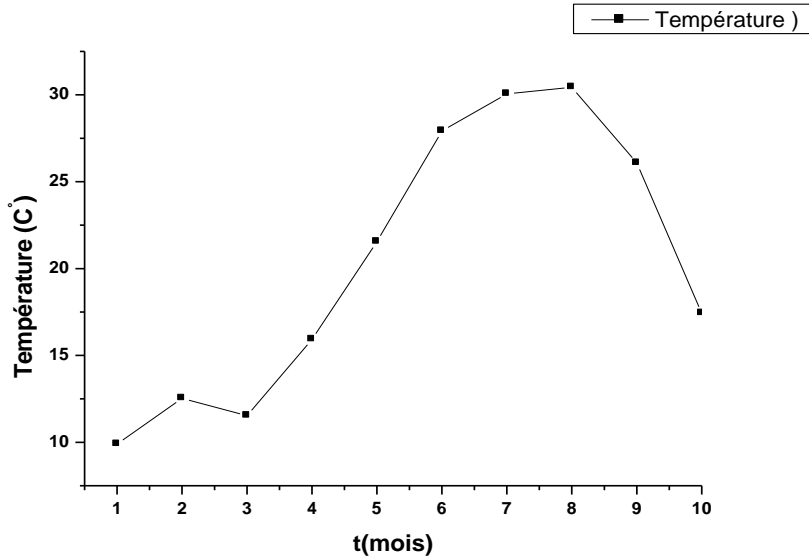
الشكل (7.IV) الخاصة P(V) للخلايا الكهروضوئية

2.3.IV - تحليل الارصاد الجوية لسنة 2021

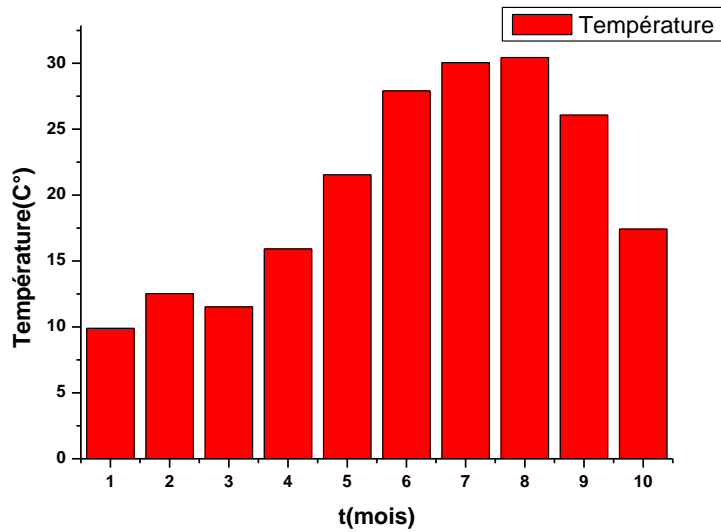
سنقوم فيما يلي بتحليل القيم المتوسطة الشهرية للأرصاد الجوية المتحصل عليها انطلاقاً من قياسات اجريت في المحطة في فترات زمنية قدرها 15 دقيقة يوميا لمدة 10 اشهر سنة 2021 للمقادير التالية: الاشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة، والرطوبة، وسرعة هبوب الرياح، كما هو مبين في الجدول التالي.

السنة	الشهر	الإشعاع (W/m^2)	درجة الحرارة (c°)	الرطوبة (%)	سرعة الرياح (m/s)
2021	جانفي	241.75	9.89	32.92	5.13
2021	فيفري	323.34	12.53	31.31	4.17
2021	مارس	404.00	11.53	36.76	3.14
2021	أفريل	494.36	15.92	30.76	3.28
2021	ماي	572.50	21.54	27.79	3.18
2021	جوان	522.68	27.92	21.38	3.65
2021	جويلية	630.71	30.05	19.04	3.29
2021	أوت	583.10	30.44	19.43	3.27
2021	سبتمبر	445.29	26.07	25.20	3.13
2021	أكتوبر	351.29	17.43	32.66	3.36

الجدول (2.IV). القيم المتوسطة للأرصاد الجوية



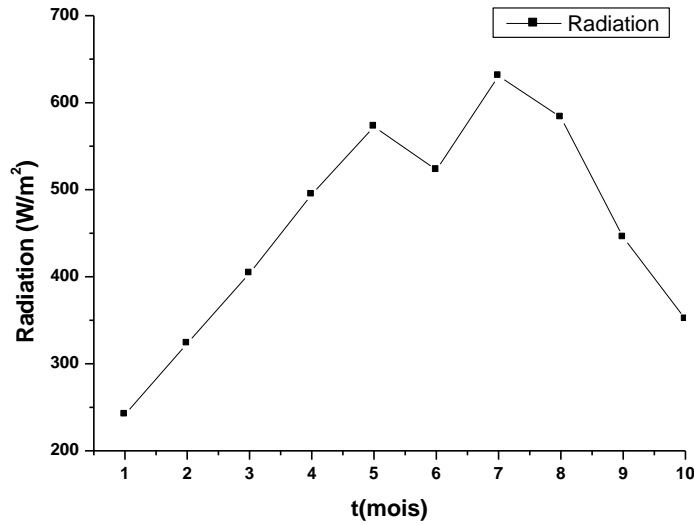
الشكل (8.IV) منحنى تغيرات متوسط درجات الحرارة بدلالة الأشهر



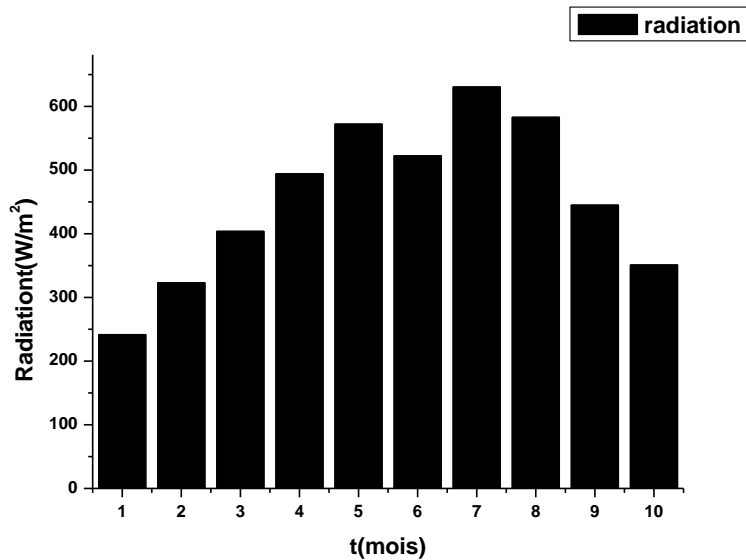
الشكل (9.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات متوسط درجات الحرارة بدلالة الأشهر

من المنحنى المشاهد نلاحظ ان تغيرات قيم متوسط درجة الحرارة الشهري في تباين خلال الاشهر حيث كانت اقل درجة في جانفي 9.89 درجة مئوية واكبر درجة في شهر اوت 30.44 درجة مئوية .

2.2.3.IV - تغيرات الإشعاع الشمسي



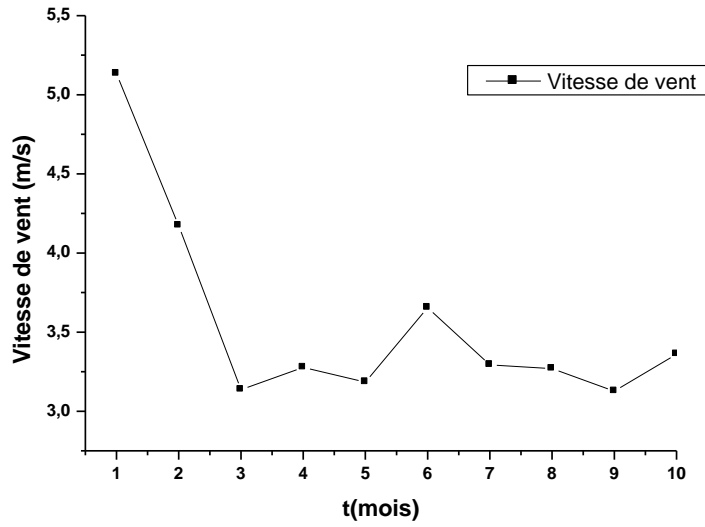
الشكل (IV.10). منحنى تغيرات متوسط الإشعاع الشهري بدلالة الاشهر



الشكل (IV.11). اعمدة بيانية تمثل تغيرات متوسط الإشعاع الشهري بدلالة الاشهر

من الملاحظ لمنحنى تغيرات متوسط الاشعاع الشهري، انه في ازدياد من اقل قيمة في شهر جانفي المقدر ب 241.75 واط في المتر المربع الواحد، الى اكبر قيمة في شهر جويلية والمقدرة ب 630.71 واط في المتر المربع الواحد، وهذا راجع الى تحسن الظروف المناخية، ثم في تناقص مع دخول فصل الخريف حتى شهر اكتوبر، بقيمة 351.29 واط في المتر المربع الواحد.

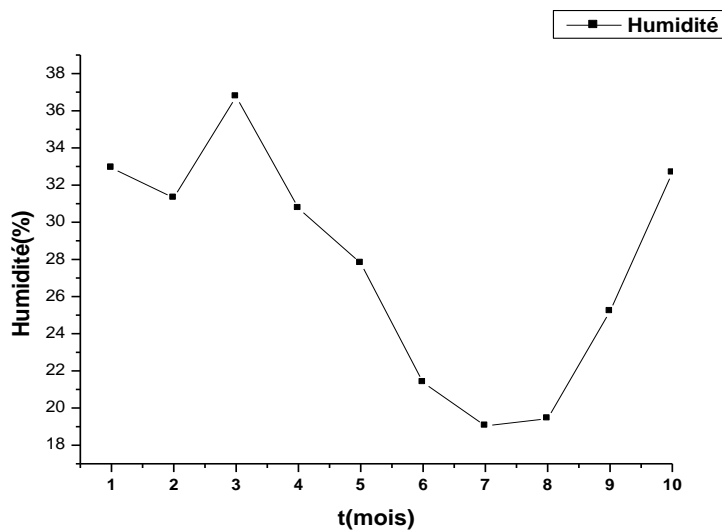
3.2.3.IV - تغيرات سرعة الرياح



الشكل (IV.12). منحنى تغيرات متوسط سرعة الرياح بدلالة الأشهر.

من خلال منحنى تغيرات سرعة الرياح، نلاحظ ان سرعة الرياح كانت كبيرة، في الشهرين الاولين بأكبر قيمة في شهر جانفي 5.13 متر في الثانية ثم تتناقص لتستقر تقريبا في بقية الشهور الاخرى ، وادنى سرعة لها كانت في شهر سبتمبر بقيمة 3.12 متر في الثانية.

4.2.3.IV - تغيرات درجة الرطوبة



الشكل (IV.13). تغيرات درجة الرطوبة بدلالة الاشهر

الفصل الرابع تقييم أداء الوحدات الكهروضوئية بمحطة وادي الكباريت

من خلال منحني تغيرات درجة الرطوبة خلال 10 اشهر، نلاحظ هناك تباين في نسبة الرطوبة، حيث كانت مرتفعة في الشهرين الاولين، لترتفع اكثر في شهر مارس لأعلى قيمة بنسبة 36.76 في المئة، ثم تنخفض حتى تصل لأدنى نسبة في شهر جويلية بنسبة 19 في المئة.

ومن الملاحظ في هذا التحليل لنتائج الأرصاد الجوية خلال 10 اشهر، ان هناك علاقة بين هذه القيم ، فكلما كانت درجة الحرارة مرتفعة ونسبة الرطوبة وسرعة الرياح منخفضة ، كانت قيمة الاشعاع مرتفعة، ولا بد ان لهذه المقادير علاقة وطيدة في أداء الوحدة الكهروضوئية ومردودها، وهذا ما سنتعرف عليه.

3.3..IV - تحليل نتائج الأداء

سنقوم بعرض ومناقشة النتائج المتحصل عليها، باستخدام بيانات مدخلات محطة الطاقة الكهروضوئية، كل 15 دقيقة لمدة 10 أشهر من سنة 2021 ، لتحليل الأداء الكمي.

$Y_A(h)$	$Y_r(h)$	$Y_f(h)$	$H(KWh/m^2)$	$E_{DC}(KWh)$	$E_{AC}(KWh)$	الشهر
4.2014	2.9009	4.0753	2.9009	1.0503	1.0188	جانفي
4.8858	3.8801	4.7392	3.8801	1.2214	1.1848	فيفري
5.0692	4.8480	4.9172	4.8480	1.2673	1.2293	مارس
5.5329	5.9323	5.3669	5.9323	1.3832	1.3417	افريل
5.8881	6.8700	5.7114	6.8700	1.4720	1.4279	ماي
5.3618	6.2721	5.2010	6.2721	1.3405	1.3002	جوان
5.9923	7.5685	5.8126	7.5685	1.4981	1.4531	جويلية
5.7562	6.9972	5.5835	6.9972	1.4390	1.3959	اوت
5.0671	5.3435	4.9151	5.3435	1.2668	1.2288	سبتمبر
4.5050	4.2155	4.3698	4.2155	1.1262	1.0925	اكتوبر

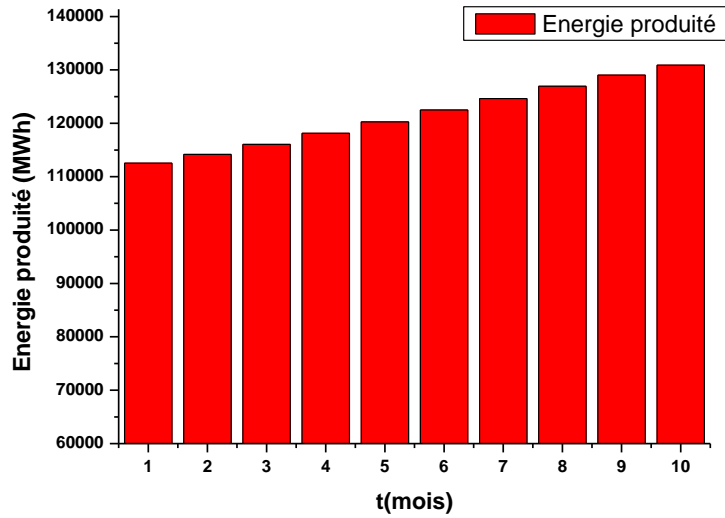
الفصل الرابع تقييم أداء الوحدات الكهروضوئية بمحطة وادي الكباريت

$L_S(h)$	$L_C(h)$	$CF(\%)$	$\eta(\%)$	PR	الشهر
0.1260	-1.3004	0.5478	21.9504	1.4048	جانفي
0.1466	-1.0057	0.7052	19.0848	1.2214	فيفري
0.1521	-0.2212	0.6609	15.8478	1.0143	مارس
0.1660	0.3993	0.7454	14.1360	0.9047	أفريل
0.1766	0.9819	0.7677	12.9899	0.8314	ماي
0.1609	0.9103	0.7224	12.9565	0.8292	جوان
0.1798	1.5762	0.7813	11.9999	0.7680	جويلية
0.1727	1.2410	0.7505	12.4681	0.7980	أوت
0.1520	0.2764	0.6827	14.3722	0.9198	سبتمبر
0.1352	-0.2895	0.5873	16.1970	1.0366	أكتوبر

الجدول (3.IV) القيم المتوسطة لمقادير الأداء

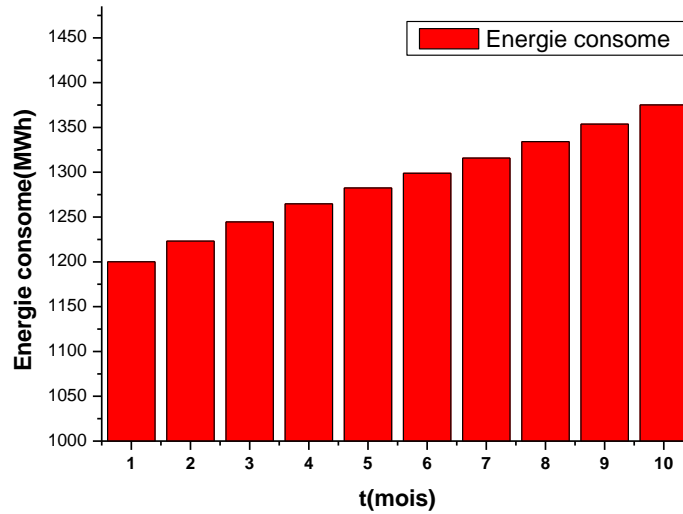
الشهر	الطاقة المنتجة (Mwh)	الطاقة المستهلكة (Mwh)
جانفي	112539.2	1200.084
فيفري	114165.4	1223.096
مارس	116047.9	1244.529
أفريل	118128.4	1264.679
ماي	120272.8	1282.436
جوان	122510.9	1298.983
جويلية	124629.3	1315.869
أوت	126927.8	1334.093

الجدول (4.IV) متوسط قيم الطاقة للوحدات الكهروضوئية.



الشكل (14.IV) اعمدة بيانية تبين تغيرات الطاقة المنتجة بدلالة الاشهر.

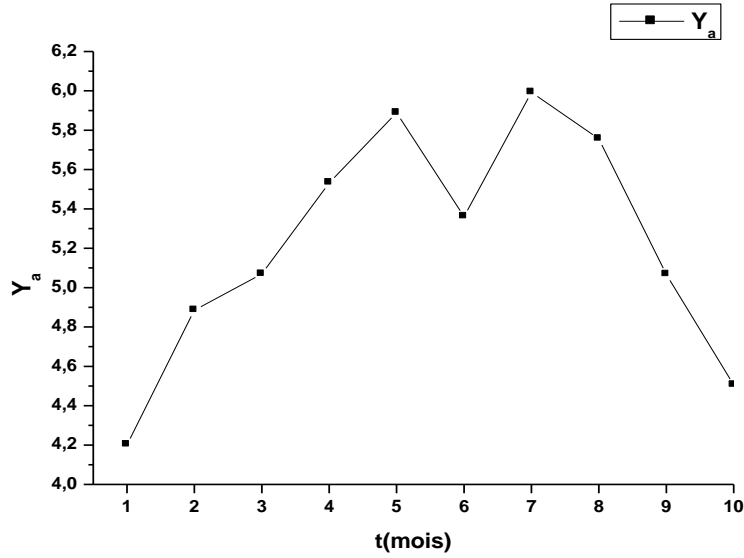
من خلال منحنى الشكل (14.IV) نلاحظ ان الطاقة المنتجة في تزايد مع مرور الاشهر



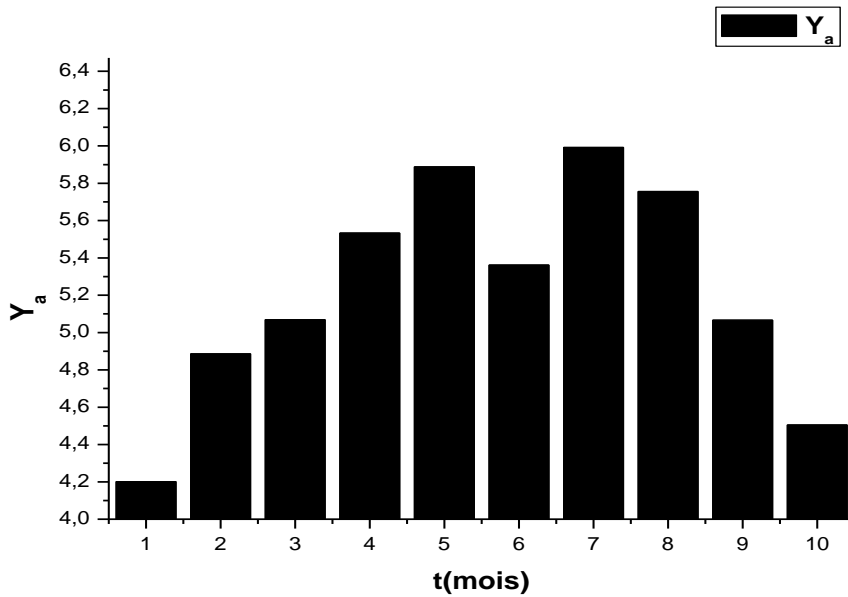
الشكل (15.IV) اعمدة بيانية تبين الطاقة المستهلكة بدلالة الاشهر.

من خلال الشكل (15.IV) نلاحظ ان الطاقة المستهلكة في تزايد تدريجي مع مرور الاشهر، لأنه مع تزايد الطاقة المنتجة تزداد الطاقة المستهلكة.

1.3.3.IV - تغيرات أداء الوحدة (Y_a)



الشكل (16.IV) منحنى تغيرات أداء الوحدة بدلالة الأشهر



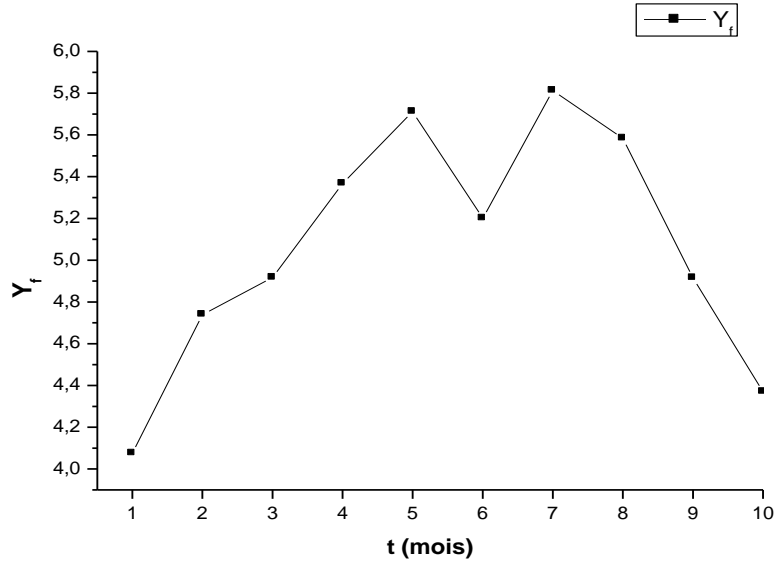
الشكل (17.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات أداء الوحدة بدلالة الأشهر

من خلال منحنى تغيرات المتوسط الشهري لأداء الوحدة، نلاحظ ان الاداء يكون في ادنى قيمة في شهر جانفي ب 4.2 ساعة، وهذا راجع لكمية الاشعاع الشمسي المنخفضة، ثم يزداد تدريجيا مع مرور الأشهر،

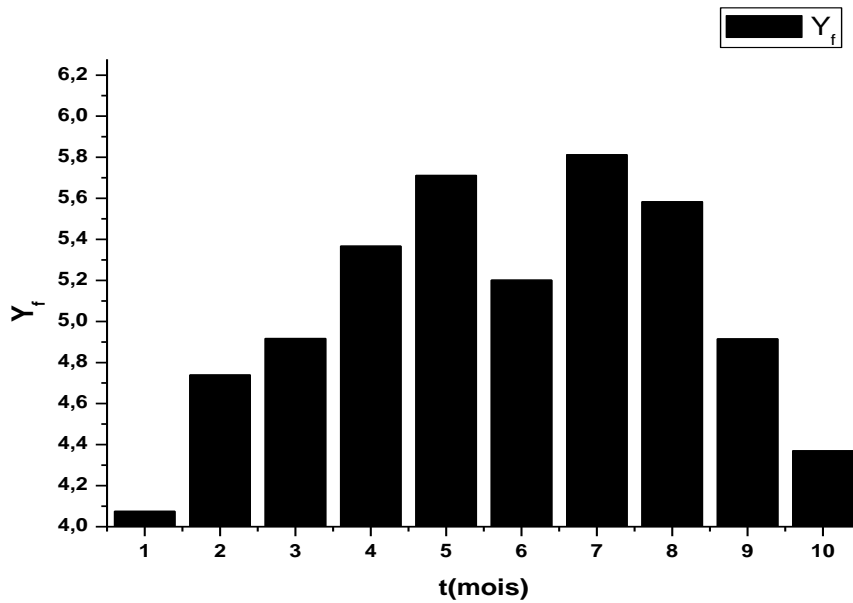
الفصل الرابع تقييم أداء الوحدات الكهروضوئية بمحطة وادي الكباريت

ليترجع قليلا في شهر جوان، لتراجع كمية الاشعاع بسبب ارتفاع في سرعة الرياح، ليعود في التصاعد ليصل لأعلى اداء ب 5.99 ساعة في شهر جويلية، ثم يبدئ في التناقص تدريجيا في بقية الأشهر.

2.3.3..IV - تغيرات الأداء النهائي للوحدة (Y_f)



الشكل (18.IV) منحنى تغيرات الأداء النهائي للوحدة بدلالة الأشهر

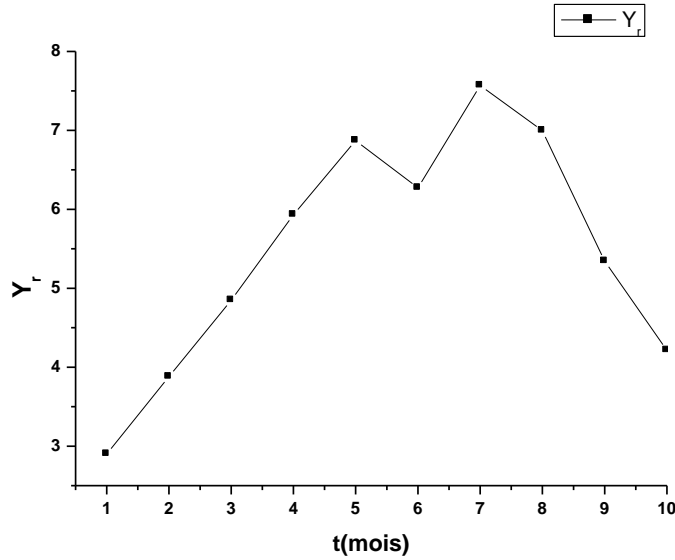


الشكل (19.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات الأداء النهائي للوحدة بدلالة الأشهر

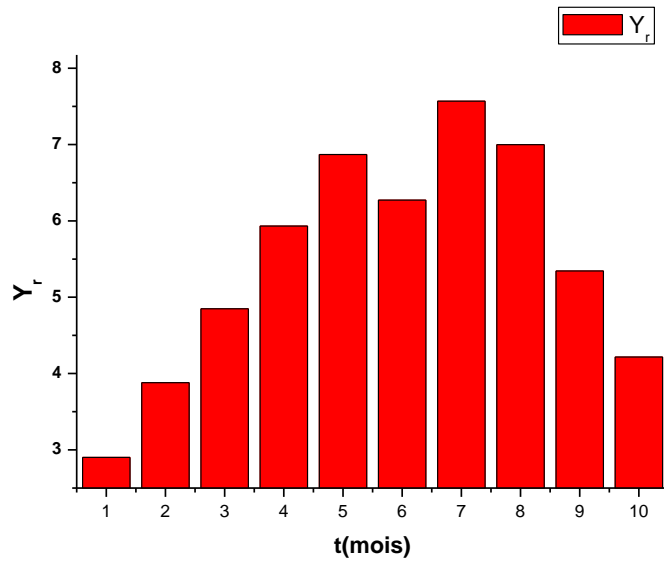
الفصل الرابع تقييم أداء الوحدات الكهروضوئية بمحطة وادي الكباريت

نلاحظ من خلال منحنى تغيرات المتوسط الشهري للأداء النهائي للوحدة، انه في تزايد تدريجي من ادنى قيمة ، في شهر جانفي 4.07 ساعة مع مرور الاشهر يتناقص قليلا شهر جوان ثم يزداد الى اعلى قيمة في شهر جويلية 5.81 ساعة ، ثم يتناقص تدريجيا مع مرور الأشهر حتى اكتوبر.

3.3.3.IV - تغيرات الأداء المرجعي (Y_r)



الشكل (20.IV) منحنى تغيرات الأداء المرجعي للوحدة بدلالة الأشهر

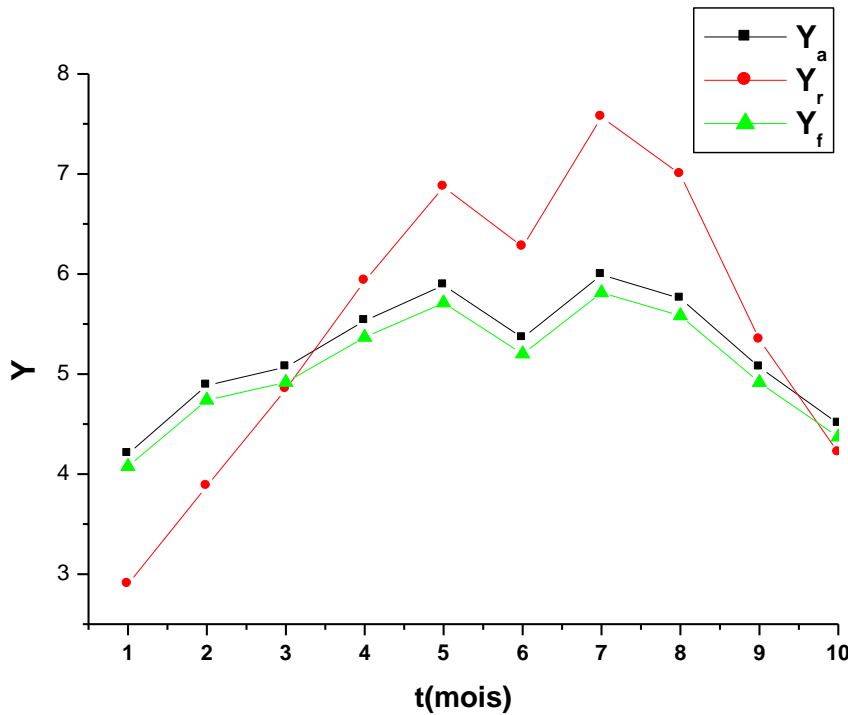


الشكل (21.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات الأداء المرجعي للوحدة بدلالة الأشهر

الفصل الرابع تقييم أداء الوحدات الكهروضوئية بمحطة وادي الكباريت

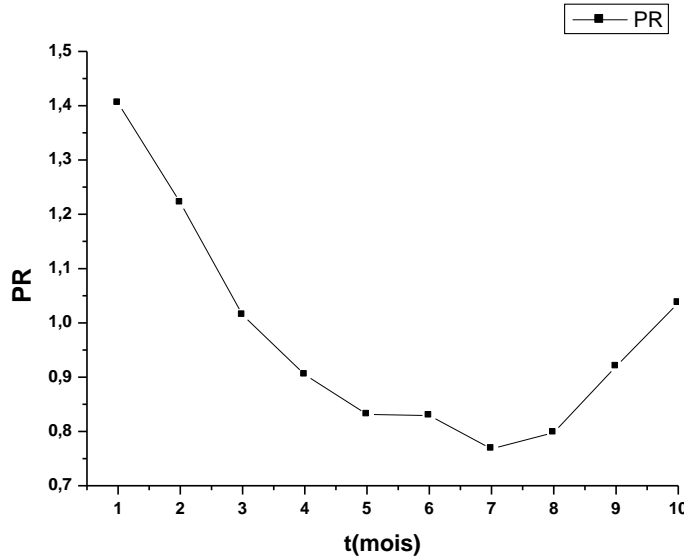
من خلال منحى تغيرات متوسط الأداء المرجعي للوحدة بدلالة الأشهر، نلاحظ ان ادنى قيمة له في شهر جانفي بـ 2.9 ساعة بسبب كمية الاشعاع القليلة في هذا الفصل الشتوي، ثم يتزايد تدريجيا ليصل لشهر جوان، يتراجع قليلا بسبب تناقص الاشعاع، ثم يزداد في شهر جويلية ليصل لأعلى قيمة 7.56 ساعة وهذا راجع لكمية الاشعاع الشمسي المحترمة، ثم يتناقص تدريجيا في بقية الأشهر.

❖ مقارنة القيم الثلاثة للأداء.

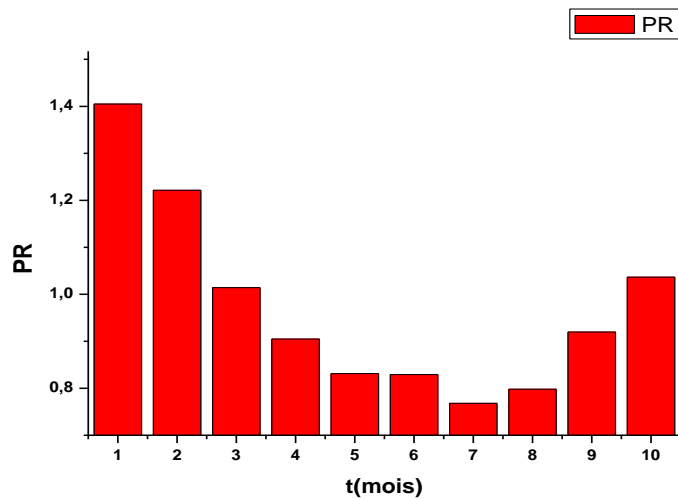


الشكل (22.IV) منحى تغيرات $Y_A Y_r Y_f$ للوحدة بدلالة الأشهر

من منحى الشكل (22.IV) نلاحظ ان منحى الاداء النهائي، صورة عن منحى اداء الوحدة، الا ان قيم الاداء النهائي اقل من قيم اداء الوحدة، اما منحى الاداء المرجعي ففي الثلاث الاشهر الاولى اقل منهما، حتى يصل الى شهر مارس فيتساوى معهما عند القيم تقريبا 5 ساعات، بعدها يصبح الاداء المرجعي اكبر منهما، على الرغم من ان الاداء في تزايد، ثم يعود ليتساوى معهما في شهر اكتوبر بقيمة اقل من القيم السابقة بقليل.

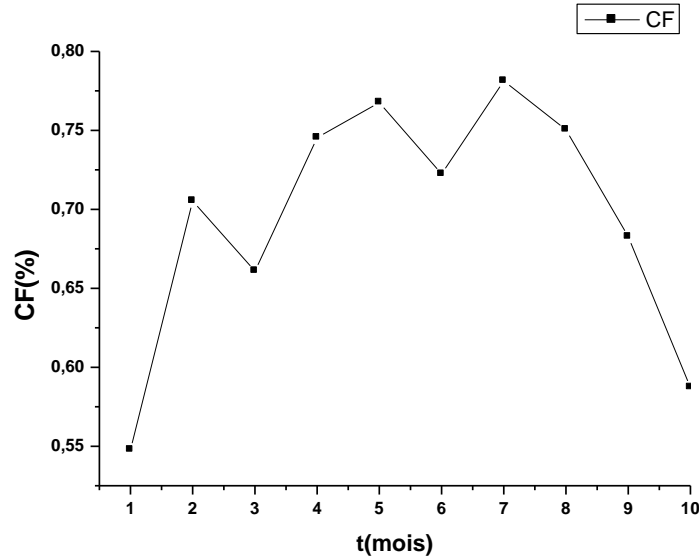


الشكل (23.IV) منحنى تغيرات نسبة أداء الوحدة الكهروضوئية بدلالة الأشهر.

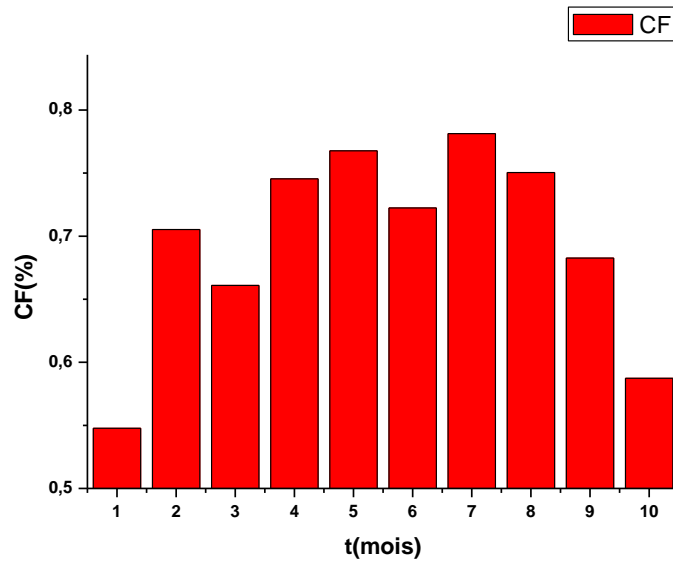


الشكل (24.IV) اعمدة بيانية تمثل تغيرات نسبة أداء الوحدة الكهروضوئية بدلالة الأشهر

من منحنى تغيرات المتوسط الشهري في نسبة أداء الوحدة ، نلاحظ ان نسبة الاداء تتناقص تدريجيا من اكبر قيمة في شهر جانفي بنسبة 1.4 وهذا بسبب زيادة الاشعاع الشمسي مع ارتفاع في درجة الحرارة وبصاحبه ارتفاع في الطاقة المنتجة، حتى يصل لأدنى قيمة في شهر جويلية بنسبة 0.76 ، ثم تعود النسبة في الارتفاع مجددا، في بقية الأشهر.

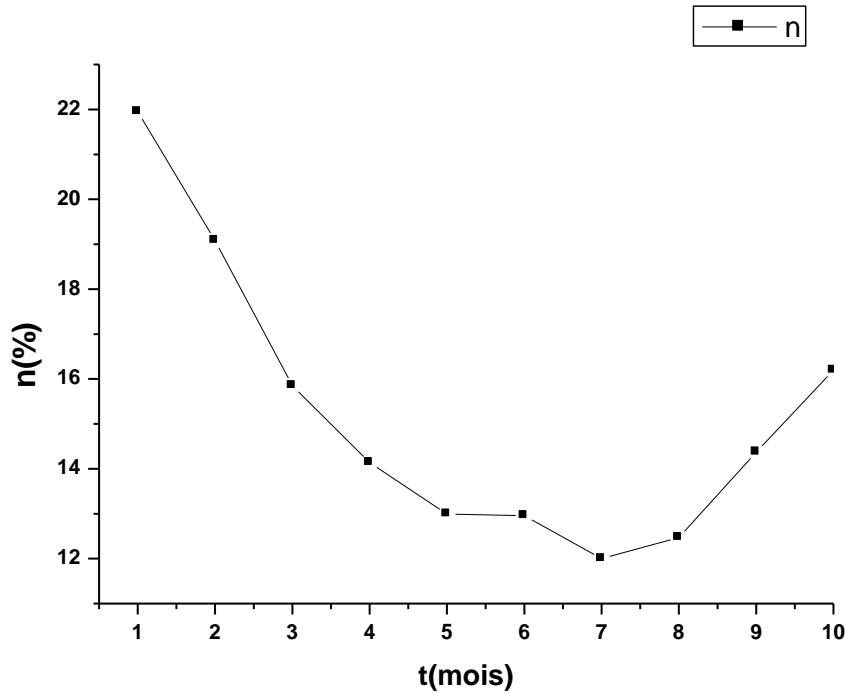


الشكل (IV.25) منحنى تغيرات مؤشر قدرة الوحدة الكهروضوئية بدلالة الأشهر

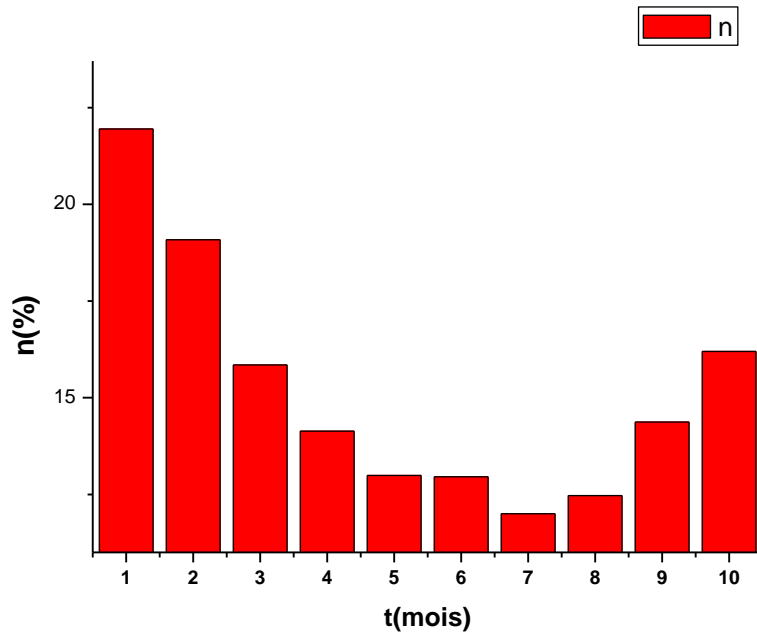


الشكل (IV.26) اعمدة بيانية تمثل تغيرات مؤشر قدرة الوحدة الكهروضوئية بدلالة الأشهر

من منحنى تغيرات مؤشر قدرة الوحدة بدلالة الأشهر، نلاحظ ان قيمه في تباين، يتزايد من أدنى قيمة في شهر جانفي 54 في المئة بغير انتظام ، لغاية بلوغ اعلى نسبة في شهر جويلية بنسبة 78 في المئة، ثم يتناقص تدريجيا حتى شهر اكتوبر.



الشكل (IV.27) منحنى تغيرات مردود الوحدة الكهروضوئية بدلالة الأشهر

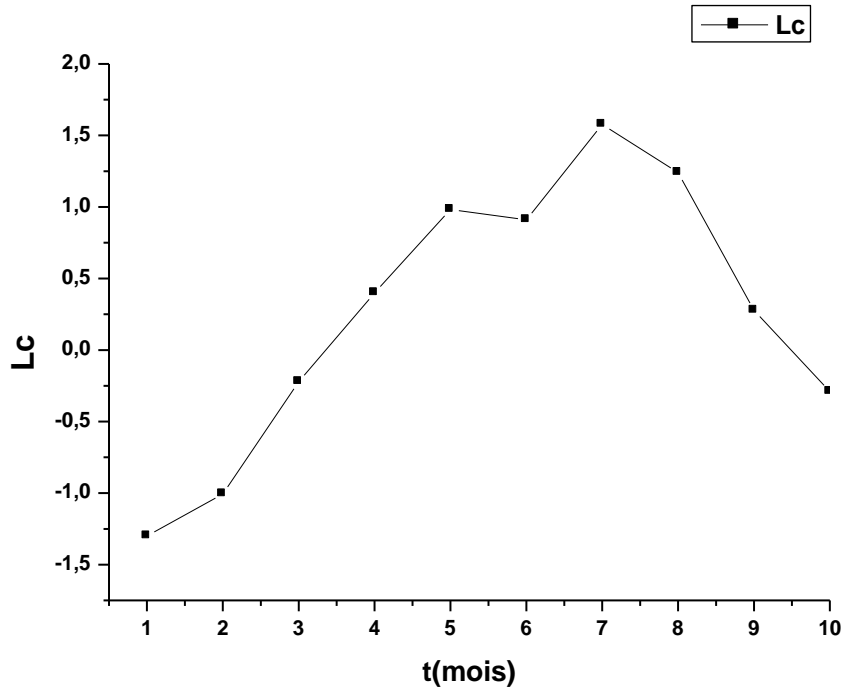


الشكل (IV.28) اعمدة بيانية تمثل تغيرات مردود الوحدة الكهروضوئية بدلالة الأشهر

الفصل الرابع تقييم أداء الوحدات الكهروضوئية بمحطة وادي الكباريت

من منحنى تغيرات مردود الوحدة بدلالة الأشهر، نلاحظ ان المردود يتناقص تدريجيا من اكبر نسبة في شهر جانفي 21.9 في المئة، وهي اكبر من نسبة المصنع، وذلك يتزامن مع زيادة في اداء الخلية والاشعاع الشمسي، ليصل الى اقل نسبة في شهر جويلية 11.99 في المئة والذي يقابلها اعلى قيمة للإشعاع والأداء، ثم يعود في تصاعد تدريجي في بقية الأشهر حتى شهر اكتوبر بنسبة 16.19 في المئة.

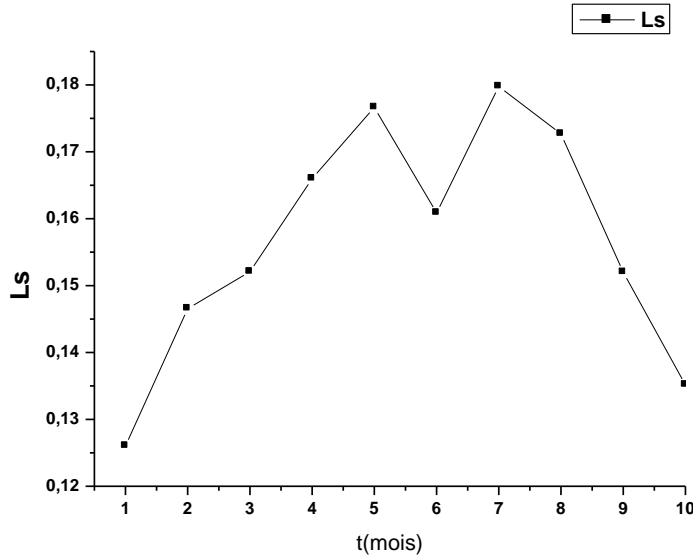
IV.7.3.3 - تغيرات ضياع الطاقة في الوحدة (Lc)



الشكل (IV.29). منحنى تغيرات ضياع طاقة الوحدة بدلالة الأشهر

من خلال منحنى تغيرات ضياع الطاقة بدلالة الأشهر، نلاحظ ان ضياع الطاقة علا مستوى الوحدة، غير موجود في الأشهر الأولى، ثم يظهر في نهاية شهر مارس، وبتزايد تدريجيا الى غاية شهر ماي، وهذا ما يتوافق مع زيادة في الاداء والزيادة في الطاقة المنتجة ، ثم يتناقص قليلا في شهر جوان لتراجع اداء الوحدة ، ثم يزداد هذا الضياع في شهر جويلية الذي تكون فيه اكبر قيمة للأداء، بعدها يتناقص تدريجيا في بقية الأشهر، بسبب تراجع اداء الوحدة ،

8.3.3.IV - تغيرات ضياع الطاقة في النظام (Ls)



الشكل (IV.30) منحنى تغيرات ضياع الطاقة في النظام بدلالة الأشهر

من منحنى تغيرات ضياع الطاقة في النظام بدلالة الأشهر، نلاحظ ان ضياع الطاقة في النظام يتزايد تدريجيا من اقل قيمة في شهر جانفي، الى غاية شهر ماي وهذا ما يفسر تراجع مردود الخلية رغم الزيادة في الأداء، ثم يتناقص قليلا في شهر جوان، ثم يزداد ليصل لأكبر قيمة في شهر جويلية، الذي كانت فيه اكبر قيمة للإشعاع والاداء واقل مردودا، ثم يتناقص تدريجيا في بقية الأشهر، الذي يقابله زيادة المردود.

4.IV - الخاتمة

في هذا الفصل تعرفنا على كفية تحليل وحدة كهروضوئية، وقمنا بتطبيق هذه المعرفة على قياسات ونتائج ميدانية فعلية، متحصل عليها من محطة واد الكباريت ، لتقييم أداء هذه المحطة ، ومن خلال هذا التقييم ، وجدنا ان أداء الخلية يتعلق بقيم الأرصاد الجوية ، وخاصة الإشعاع الشمسي ، فيزداد أداء الوحدة بازدياده وكذلك الطاقة المنتجة، رغم ذلك يتناقص مردودها الذي لم يصل متوسطه خلال 10 اشهر الى النسبة 16 في المئة التي حددها المصنع، فكانت نسبته المتوسطة 15.2 في المئة، وهذا ما يفسر الضياع في الطاقة على مستوى الخلية والنظام.

الخلاصة

خلاصة

أصبحت حماية البيئة مصدر قلق كبير في السنوات الأخيرة، ولذلك تم توجيه العديد من سبل البحث نحو استخدام الطاقات المتجددة، بما في ذلك الطاقة الشمسية، فيتم إنتاج هذه الطاقة بواسطة جهاز يدعى خلية شمسية كهروضوئية، تقوم بتحويل الطاقة الكهرومغناطيسية الناتجة عن الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية، وتعاني أنظمة الطاقة المتجددة بشكل عام، من نقص التحسين في مردودها، وتطويرها.

يمكننا القول اننا قدمنا مساهمة ولو قليلة، من خلال عملنا هذا المتواضع الذي شمل عدة جوانب، أولاً قدمنا مفاهيم عامة عن التكنولوجيا الكهروضوئية، مع التنكير بمبدأ عملها، وأنواع الخلايا الشمسية المستخدمة في القطاع.

و في الجزء الثاني من هذا العمل ، قمنا بدراسة النمذجة الرياضية للأنظمة الكهروضوئية، والتي تقوم على نمذجة هذه الأنظمة لدارات كهربائية مكافئة، يكون مولدها المولد كهروضوئي .

ثم قدمنا دراسة وصفية ، لواحدة من أكبر محطات الطاقة الكهروضوئية في الجزائر، وادي الكباريت في سوق أهراس وعرفنا بجميع منشئاتها ومكوناتها، ودور كل منها لغرض تقييم أدائها.

وأخيراً ركزنا عملنا على دراسة أهم المعادلات الرياضية، التي تتيح لك معرفة أداء الخلايا الكهروضوئية، ومعامل تدهور الأداء، وذلك لإظهار التطابق بين القيم المرجعية المحددة من قبل الشركات المصنعة والقياسات الفعلية، من اجل تقييم أداء الوحدة الكهروضوئية واد الكباريت ، بناءً على البيانات المقاسة بالمحطة فعلياً.

حيث أظهرت النتائج، أن المردود الجيد للنظام الكهروضوئي، خلال فصل الشتاء والخريف يرجع إلى انخفاض درجة حرارة الوحدة، والكمية الكافية من الإشعاع الشمسي، رغم قلة الطاقة المنتجة، وانخفاض أداء الخلية، وما يقابله، أداء عالي، وطاقة كبيرة مولدة من طرف النظام الكهروضوئي، خلال فصل الصيف، مع ان مردوده أقل، ومقدار ضياع طاقة كبير ،.وهذا يوضح لنا أن الأداء يرتبط بعدة عوامل داخلية وخارجية، نحتاج إلى دراستها بتفصيل معق، لمعرفة السبب الرئيسي لانخفاض الأداء.

المراجع

- [1] 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 III, 2003
- [2] G, Adam. R, Modeling heterogeneous carbon nanotube networks for photovoltaic application using silvaco atlas software”, Thesis Naval postgraduate school Monterey California. 2012
- [3] Sébastien Quoizola, Epitaxie en phase vapeur de silicium sur silicium sur silicium mesoporeux pour report sur substrats économiques et application photovoltaïque bas cout.Thèse de Doctorat, 2003, L’Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [4] Bruxelles environnement. Le photovoltaïque fonctionnement et technologies le photovoltaïque –module3-fonctionnement et tecnologies. Novembre 2010.
- [5] Andrej Čotar ,Andrej Filčić, Photovoltaic systems , Rijeka, january 2012
- [6] Dib Wassila – Modélisation des structures photovoltaïque : aspects et fondamentaux et applique», Thèse de Doctorat, 2010, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- [7] L. protinand S Astier,"convertisseurs photovoltaïque"techniquesd'ingéniereD3360.1996
- [8] Ciesielskia, Peter N; Frederick M. Hijazib, Amanda M. Scott, Christopher J.Faulkner, Lisa Beard, Kevin Emmett, Sandra J. Rosenthal, David Cliffl, G. KaneJennings (May 2010). "photosystem I- Based biohybrid photoelectrochemical cells".Biosource Technology 101 (9): 3047–3053.
- [9] Yehezkeli, Omer; RanTel-Vered, Julian Wasserman, Alexander Trifonov, DoritMichaeli, Rachel Nechushtai, Itamar Willner (13 March 2012). "Integrated photosytem Based photoelectrochemical cells". Nature communication.
- [10] Wohlgemuth JH, Narayanan S. Buried contact concentrator solar cells. Twenty Second IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 1991.
- [11]V.FthenakisandH.C.Kim.(2010)."Life-cycle uses of water in U.S. electricitygeneration". Renewable and Sustainable Energy Reviews 14: 2039–2048.
-

- [12] Peng et al. (2013). "Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 19: 255–274
- [13] de Wild-Scholten, Mariska (2013). "Energy payback time and carbon footprint of commercial photovoltaic systems". *Solar Energy Materials & Solar Cells* 119: 296–305.
- [14] <http://www.iea.org> (2014). "Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy"(PDF). IEA. Archived from the original on 7 October 2014. Retrieved 7 October 2014.
- [15] "DOE Solar Energy Technologies Program Peer Review" (PDF). U.S. department of energy 2009. Retrieved 10 February 2011.
- [16] "Dye-Sensitized vs. Thin Film Solar Cells", European Institute for Energy Research, 30 June 2006.
- [17] Moss, S. J. and Ledwith, A. (1987). *The Chemistry of the Semiconductor Industry*. Springer. ISBN 0-216-92005-1.
- [18] Milliron, Delia J.; Gur, Ilan; Alivisatos, A. Paul (2005). "Hybrid Organic–Nanocrystal Solar Cells". *MRS Bulletin* 30:41–44.
- [19] Saunders, B.R.; Turner, M.L. (2008). "Nanoparticle-polymer photovoltaic cells". *Advances in Colloid and Interface Science* 138 (1): 1–23
- [20] Michael G Debije, Paul P C Verbunt, Pradeep J Nadkarni, Suresh Velate, Kankan Bhaumik, Sankaran Nedumbamana, Brenda C Rowan, Bryce S Richards and Theo L Hoeks. Promising fluorescent dye for solar energy conversion based on a perylene perinone. *Applied Optics* 50(2):163-169, 2011.
- [21] Askari Mohammad Bagher, Mirzaei Mahmoud Abadi Vahid, Mirhabibi Mohsen. Types of Solar Cells and Application, *American Journal of Optics and Photonics*. 2015; 94-113.
- [22] W. Heywang, K.H. Zaininger, *Silicon: the semiconductor material*, in *Silicon: evolution and future of a technology*, P. Siffert, E.F. Krimmel eds., Springer Verlag, 2004.
- [23] Green, Martin A. (2003). *Third Generation Photovoltaics: Advanced Solar Energy Conversion*. Springer. p. 65
-

- [24] "Solar Junction Breaks Concentrated Solar World Record with 43.5% Efficiency". Cnet.com.
- [25] N. Gupta, G. F. Alapatt, R. Podila, R. Singh, K.F. Poole, (2009). "Prospects of Nanostructure-Based Solar Cells for Manufacturing Future Generations of Photovoltaic Modules". International Journal of Photoenergy 2009: 1
- [26] Eperon, Giles E.; Stranks, Samuel D.; Menelaou, Christopher; Johnston, Michael B.; Herz, Laura M.; Snaith, Henry J. (2014). "Formamidinium leadtrihalide: a broadly tunable perovskite for efficient planar heterojunction solar cells". Energy & Environmental Science 7 (3): 982.
- [27] Snaith, Henry J. "Perovskites: The Emergence of a New Era for Low-Cost, High-Efficiency Solar Cells." The Journal of Physical Chemistry Letters 4.21 (2013)
- [28] Licht, S. J. Phys. Chem. 105, 6281-6294 (2001).
- [29] Krebs et. al., Solar Energy Materials and Solar Cells 2009 10.1016/j.solmat.2008.10.004
- [30] Baskoutas, Sotirios; Terzis, Andreas F. (2006). "Size dependent band gap of colloidal quantum dots". Journal of Applied Physics 99
- [31] Mitchell, Marit (2014-06-09). "New nanoparticles bring cheaper, lighter solar cells outdoors". Rdmag.com. Retrieved 2014-08-24.
- [32] "Photovoltaics Report". Fraunhofer ISE. 28 July 2014.
- [33] Mr. Abderrazek Mahfoude « modélisation des cellules solaires tandem à couches minces et à haut rendement », thèse de doctorat, université stif, 2015
- [34] HALOUAN Assia, Modélisation du transfert radiatif dans les strates supérieures d'un module photovoltaïque, mémoire master, université m'hamed bougara boumerdes, promotion 2017
- [35] BENSALÉM salaheddin, Effets de la température sur les paramètres caractéristiques des cellules solaires, mémoire magister, université ferhat abbas – setif, promotion 2011.
- [36] Bhalchandra V. Chikate .Y.A. Sadawarte .The Factors Affecting the Performance of Solar Cell. International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)
-

- [37] Kalogirou S. Solar energy engineering: processes and systems: chapter 9. Academic Press; 2009. p. 469–517.
- [38] « Cellule Solaire : ModeleSpice -Fiche technique » , I.U.T. de Nimes, 5 février 2008
- [39] M. Z. F.Z. Zerhouni, "Optimisation d'un système à énergie verte avec validation pratique," Revue des Energies Renouvelables, vol. 11 , no. N°1, p. 41–49, 2008.
- [40] Bendjellouli Zakaria, "contribution à la modélisation d'une cellule solaire", thèse de Magistère, Université de Bechar, 2009
- [41] J.A. Gow and C.D. Manning « Development of a Photovoltaic Array Model for Use in Power Electronics Simulation Studies ». IEE Proceedings on Electric Power Applications, Vol. 146, N°2, pp. 193 - 200, 1999.
- [42] Petibon Stéphane « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ». Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2009.
- [43] M.S. Aït Cheikh et al « Mise au point d'une régulation floue pour serre agricole à énergie solaire » Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°3, pp 421-443 ,2010
- [44] L.A. Hecktheuer, A. Krenzinger and C.W.M. Prieb « Methodology for Photovoltaic Modules Characterization and Shading Effects Analysis ». Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences, Vol. 24, N°1, pp. 26-32, 2002.
- [45] Nikhil J. Anthony « Thermal analysis of a solar water distillation and electricity generation system ». A Thesis submitted to the Department of Mechanical Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science Degree Awarded: Fall Semester, 2008
- [46] B Addallah « Développement de surface à base de dioxyde de titane par PVD pour une application aux cellules solaires ». Thèse de doctorat, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2008.
- [47] R. Merahi, R. Chenni, M. Houbes « Modélisation et Simulation d'un Module PV par Matlab ». Journal of Scientific Research N° 0 vol 1, 2010.
-

- [48] T.U. Townsend « A Method for Estimating the Long Term Performance of Direct Coupled Photovoltaic Systems ». MS Thesis, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, 1989.
- [49] G. Notton et al. « Influence d'un ombrage partiel sur la production électrique d'un module photovoltaïque en silicium monocristallin ». Revue des Energies Renouvelables, 2010.
- [50] W. De Soto, S.A. Klein, W.A. Beckman « Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance ». Solar Energy 80, pp. 78-88, 2006.
- [51] Roshanak Radbeh «Réalisation et caractérisation des cellules solaires organiques à couches composites polymères incluant des nanotubes de carbones ».Thèse de doctorat, Université de Limoges, 2008.
- [52] O. Gergaud, B. Multon, H. Ben Ahmed « Analysis and Experimental Validation of Various Photovoltaic System Models »7th International ELECTRIMACS Congress,Montréal, Août 2002.
- [53] Salima. Kebaili. Achour. Betka « Efficiency Model Of DC/DC PWM Converter Photovoltaic Applications ». GCREEDER, Amman-Jordan, March 31st – April 2nd,pp1-5, 2009
- [54] K.H. Hussein I. Muta T. Hoshino M.Osakada « Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions ».IEE Proc-Gener. Trans. Distrib, Vol. 142, No. 1, pp 59-64 January 1995
- [55] W. De Soto, S.A. Klein, W.A. Beckman, Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance, Solar Energy 80 (1) (2006) 78–88.
- [56] International Electrotechnical Commission IEC, Publication 891. Procedures for Temperature and Irradiance Corrections to Measured I–V Characteristics of Crystalline Silicon Photovoltaic Devices, 1987, p. 15.
- [57] Aissa Chouder , Santiago Silvestre, Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters ,(2012) 46–58
- [58] Aissa Chouder, Santiago Silvestre, Monitoring, modelling and simulation of PVsystems using LabVIEW,2012.
-

- [59] Abou El-Maaty Metwally, Modelling and Simulation of a Photovoltaic Fuel Cell Hybrid System, Faculty of Electrical Engineering, Ph.D. Thesis, University of Kassel,2005
- [60] T.F. El Shatter, M.T. El Hagry, Sensitivity analysis of the photovoltaic model parameters , in: Proc. MWSCAS, Circ. and Syst., vol. 2, IEEE, Las Cruces NM, 1999,pp. 914–917
- [61] Sharma V, Sastry OS, Kumar A, Bora B, Chandel SS. Degradation analysis of aSi₃N₄/HIT hetero-junction intrinsic thin layer silicon and m-C-Si solar photovoltaic technologies under outdoor conditions. Energy 2014.
- [62] Kichou S, Abaslioglu E, Silvestre S, Nofuentes G, Torres-Ramírez M, Chouder A. Study of degradation and evaluation of model parameters of micromorph silicon photovoltaic modules under outdoor long term exposure in Jaen, Spain. Energy Convers Manag 2016.
- [63] Daha Hassan Daher, Leon Gaillard, Christophe Ménézo, Évaluation expérimentale de la dégradation des performances d'une centrale solaire PV fonctionnant dans un climat désertique maritime,2018
- [64] Santiago Silvestre , Ali Tahri , Fatima Tahri , Soumiya Benlebna , Aissa Chouder ,Evaluation of the performance and degradation of crystalline silicon-based photovoltaic modules in the Saharan environment, Energy 152 (2018) 57-63
- [65] Ayompe LM, Duffy A, McCormack SJ, Conlon M. Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. Energy Convers Manage 2011.
- [66] Kymakis E, Kalykakis S, Papazoglou TM. Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. Energy Convers Manage 2009;50(3):433.
- [67] Mondol JD, Yohanis Y, Smyth M, Norton B. Long term performance analysis of a grid connected photovoltaic system in Northern Ireland. Energy Convers Manage 2006;47(18–19):2925
-

- [68]Ayompe LM, Duffy A, McCormack SJ, Conlon M. Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. *Energy Convers Manage* 2011;52:816.
- [69]Kymakis E, Kalykakis S, Papazoglou TM. Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. *Energy Convers Manage* 2009;50(3):433.
- [70] Manish Kumar , S.S. Chandel , Arun Kumar, Performance analysis of a 10 MWp utility scale grid-connected canal top photovoltaic power plant under Indian climatic conditions, *Energy* 204 (2020) 117903..
-