دراسة تأثير العوامل الجوية على كفاءة الخلية الشمسية

وليم العيسى[1]

د. ناصر سعد الدين[2]

د. عبد الله رستناوي[3]

ملخص البحث

تم في هذا البحث دراسة تأثير كل من درجة الحرارة والرطوبة والغبار وشدة الإشعاع الشمسي على كفاءة الخلية الشمسية ،وتبين أن ترسب وتراكم الغبار المحمول جواً على الخلايا الشمسية تسبب في حدوث انخفاض كبير في تيار قصر الدارة ، مما يؤدي إلى تقليل كفاءة الخلايا الشمسية، كما أن زيادة درجة الحرارة تؤدي إلى زيادة تيار الإشباع، مما يؤدي إلى تناقص جهد الدارة المفتوحة ويؤدي بالتالي إلى تناقص عامل الملء وبالنتيجة تناقص كفاءة الخلية الشمسية، كما بينت الدراسة أن الرطوبة تؤثر سلبا على الخلية الشمسية وأن زيادة شدة الإشعاع الشمسي الوارد يؤدي إلى ازدياد عدد الفوتونات الساقطة على سطح الخلية الشمسية وبالتالي زيادة الاستطاعة الكهربائية للخلية.

الكلمات المفتاحية : خلية شمسية ، كفاءة ، درجة الحرارة ، الغبار ، الرطوبة ، شدة الإشعاع الشمسي.

1 طالب ماجستير في فيزياء المادة الكثيفة

[2] أستاذ في قسم الفيزياء في كلية العلوم جامعة البعث

[3] أستاذ في قسم الفيزياء في كلية العلوم جامعة البعث

1- الهدف من البحث :

دراسة تأثير كل من درجة الحرارة والرطوبة والغبار وشدة الإشعاع الشمسي على كفاءة الخلية الشمسية .

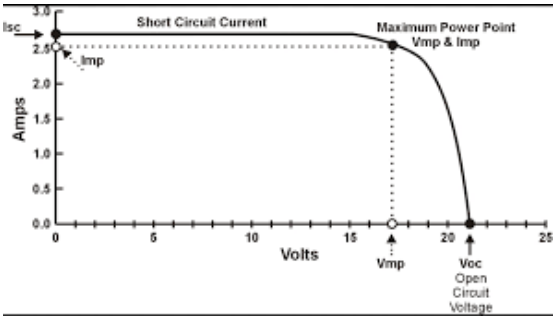
2- مقدمة :

الخلايا الشمسية عبارة عن أجهزة بسيطة مصنوعة من مواد نصف ناقلة تمتلك القدرة على امتصاص الضوء وتحويل جزء من الطاقة الضوئية الممتصة إلى حوامل carriers (ثقوب والكترونات) وبالتالي تيار كهربائي، فالخلية الشمسية ببساطة هي ثنائي diode مصمم ومنتج بعناية ليمتص طاقة الضوء (بكفاءة مقبولة) من الشمس وتحويلها إلى طاقة كهربائية.[1,2,3]

ولقد أصبحت للطاقة الشمسية مكانتها اللائقة بين مصادر الطاقة الأخرى في الوقت الحاضر واعتمدت ميزانيات كبيرة في أغلب الدول لاستغلال هذه الطاقة، كما تعددت الطرق المقترحة للاستفادة منها، مثل استخدام المرايا العاكسة لتجميع ضوء الشمس، أو ابتكار طرق لتجميع حرارة الشمس وامتصاصها، أو تحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بواسطة الخلايا الشمسية[4,5,6].

بارامترات الخلية الشمسية :

- **المنحني المميز للخلية الشمسية (I-V):** تعطي الخلية الشمسية تيار مستمر ومن الرسم البياني للمنحني نجد أن الخلية لا تخضع لقانون أوم، وأن التناسب التيار مع الفولطية غير خطي الشكل (1)، ومن المنحني المميز يمكن تحديد كل البارامترات الكهربائية للخلية الشمسية.



الشكل (1): المنحني المميز I–V للخلية الشمسية

- **نقطة الاستطاعة العظمى: Maximum Power Point**

هي النقطة التي تكون عندها الاستطاعة المتولدة من الخلية أكبر ما يمكن، أي إن نقطة القدرة العظمى (MPP) هي نقطة القمة بين خط التيار وخط الفولطية على مخطط (I–V) الشكل (1).

وتحسب بحاصل الضرب للنقطة القصوى للفولط V_{mp} و النقطة القصوى للتيار I_{mp}

وتعطى بالعلاقة:

$$P_{mpp}=V_{mp}\cdot I_{mp} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

- **تيار قصر الدارة I_{sc}:** يمثل أقصى شدة للتيار المتولد ضوئيا ويتم الحصول عليه عندما تكون المقاومة معدومة $R=0$، أي عند عدم وجود حمولة، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$I_{sc}=I_0\left(e^{q.V_{oc}/K.T}-1\right) \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

- **جهد الدارة المفتوحة V_{oc}** : تمثل أقصى قيمة لفرق الكمون الذي تنتجه الخلية ويتم الحصول عليها عندما تكون المقاومة لا نهائية ويعطى بالعلاقة التالية :

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} ln \frac{I_{sc}}{I_0} \qquad \ldots\ldots \qquad (3)$$

حيث K ثابت بولتزمان و T درجة الحرارة ، I_0 تيار الإشباع للوصلة.

- **عامل الملء FF** : يعد عامل الملء مقياس لمدى حدة المنحني المميز للخلية الشمسية ومدى قربه من منحني الخلية $(V_{oc}، I_{sc})$ حيث أنه يمثل المساحة المحصورة بين منحني $(V_{oc}، I_{sc})$، ومنحني $(I_m، V_m)$ ، وقيمته بالنسبة للخلايا ذات الكفاءة المقبولة بين $(0.75-0.85)$ ويحسب من العلاقة :

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \qquad \ldots \qquad (5)$$

- **الكفاءة η:** تمثل مقدار تحويل الخلية الطاقة الضوئية الواردة P_{in} لطاقة كهربائية وتحسب من العلاقة:[7,8,9]

$$\eta = \frac{V_m \cdot I_m}{P_{in}} \qquad \ldots\ldots \qquad (6)$$

القسم العملي:

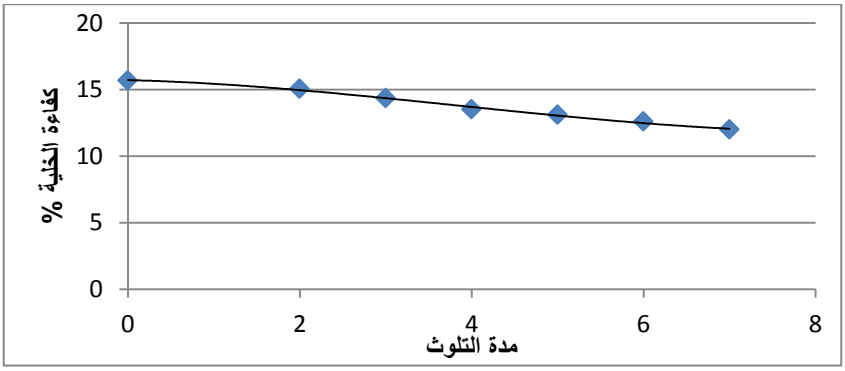
أولاً: دراسة تأثير الغبار على أداء الخلية الشمسية : يمثل الغبار جزءًا كبيرًا من الجزيئات الطبيعية وهذه الجسيمات لها أقطار تصل إلى عدة ميكرونات، وبالتالي فهي قادرة على تشتت وامتصاص الطاقة الشمسية الذي يؤثر على كفاءة الخلايا الشمسية، إذ يسبب تراكم الغبار على الغطاء الزجاجي إلى انخفاض طاقة الخلايا الشمسية وبالتالي انخفاض كفاءتها.

قمنا بإجراء جريت تجارب بيئية حقيقية في منطقة حمص لدراسة تأثير تراكم الغبار على الخلايا الشمسية المثبتة بزاوية محددة ، ويبين الجدول (1) كفاءة الخلية الملوثة وكفاءة الخلية النظيفة عند زاوية ميل الخلية الشمسية 45° :

كفاءة خلية ملوثة	كفاءة خلية نظيفة	مدة التلوث
15.06	15.69	يومين
14.35		ثلاثة أيام
13.51		أربعة أيام
13.1		خمسة أيام
12.6		ستة أيام
12		سبعة أيام

الجدول (1) كفاءة الخلية الملوثة وكفاءة الخلية النظيفة عند زاوية ميل الخلية الشمسية 45°

ويبين الشكل (2) علاقة بين كفاءة الخلية الشمسية ومدة التلوث:



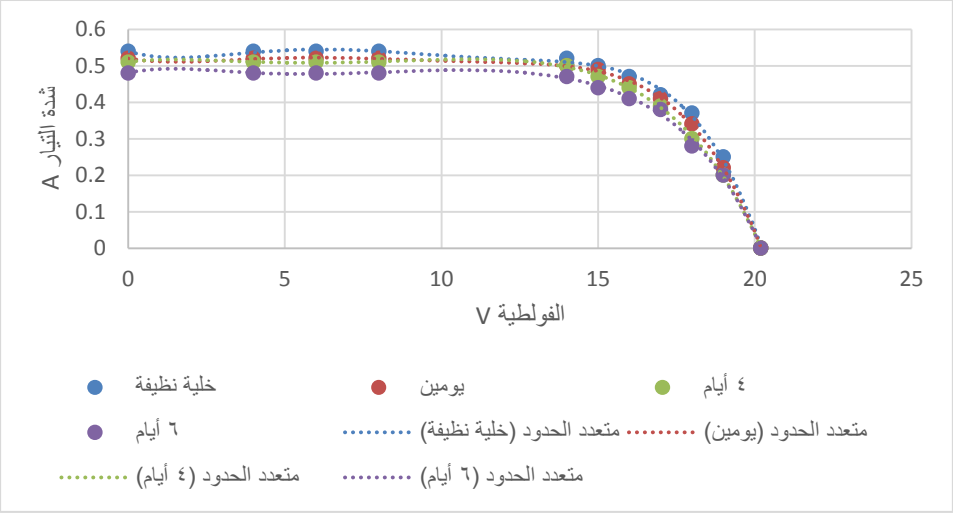
الشكل(2): يمثل تأثير مدة التلوث على كفاءة الخلية

منحي I–V لخلية شمسية معرضة للتلوث لمدة يومين أيام:

I	0	0.22	0.34	0.41	0.45	0.49	0.5	0.52
V	20	19	18	17	16	15	14	0

منحي I–V لخلية شمسية نظيفة:

I	0	0.25	0.37	0.42	0.47	0.5	0.52	0.54
V	20.2	19	18	17	16	15	14	0



أظهرت النتائج التجريبية أن ترسب وتراكم الغبار المحمول جواً على الخلايا الشمسية تسبب في حدوث انخفاض كبير في تيار قصر الدارة ، مما يؤدي إلى تقليل كفاءة الخلايا الشمسية، ويرجع هذا التأثير إلى انخفاض النفاذية التي تتأثر بكثافة ترسب الغبار وأحجام الجسيمات ، علاوة على ذلك فإن التنظيف بالماء الطبيعي ضروري لإزالة الغبار، وبالتالي يتم الحصول على أفضل كفاءة الخلايا الشمسية، وفي مثل هذه الحالة يوصى بشدة باستخدام نظام التنظيف الذاتي خاصة في المناطق المترية التي قد تكون مفيدة لمنع تراكم الغبار وتحسين أداء وحدة الطاقة .

ثانيا: دراسة تأثير درجة الحرارة على أداء الخلية الشمسية

إن درجة الحرارة التي تعمل بها الوصلة p–n تؤثر على خصائصها الكهربائية ، والسبب الرئيسي في ذلك يعود إلى ازدياد حاملات الشحنة الأقلية بسبب أزواج الإلكترون–ثقب على جانبي خط الفصل.

ومن نتائج ازدياد حاملات الشحنة الأقلية هو انخفاض جهد الوصلة وهذا يقلل من عرض منطقة الاستنزاف وأيضا يزداد تيار الإشباع الناتج عن الحاملات الأقلية وبالتالي

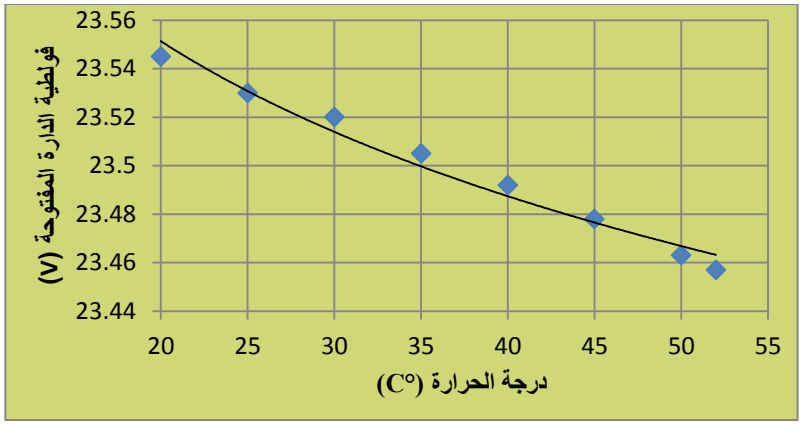
البارامتر الأكثر تضرراً من زيادة درجة الحرارة في الخلية الشمسية هو جهد الدائرة المفتوحة.

يبين الجدول التالي تأثير درجة حرارة الخلية الشمسية على تيار الدارة المقصورة وجهد الدارة المفتوحة

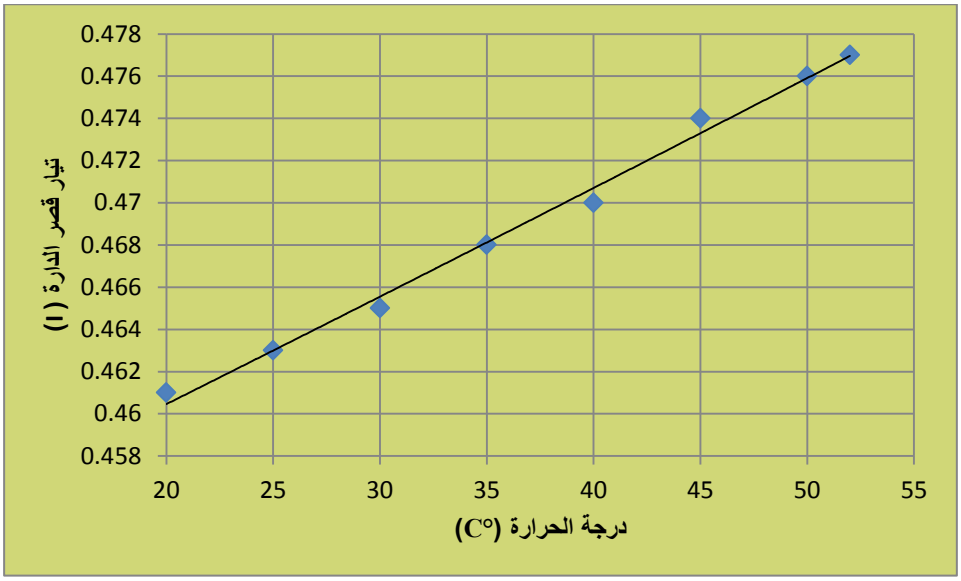
في يوم 2019/6/29 ، شدة الإشعاع الشمسي 78klu، وزاوية ميل الخلية الشمسية 45°، خلال زمن قياس قدره نصف ساعة على سطح المنزل

T°C (للخلية)	I_{sc}	V_{oc}
20	0.461	23.545
25	0.463	23.530
30	0.465	23.520
35	0.468	23.505
40	0.47	23.492
45	0.474	23.478
50	0.476	23.463
52	0.477	23.457

الجدول (3) تأثير درجة حرارة الخلية الشمسية على تيار الدارة المقصورة وجهد الدارة المفتوحة



الشكل (3): تغيرات جهد الدارة المفتوحة بدلالة درجة الحرارة

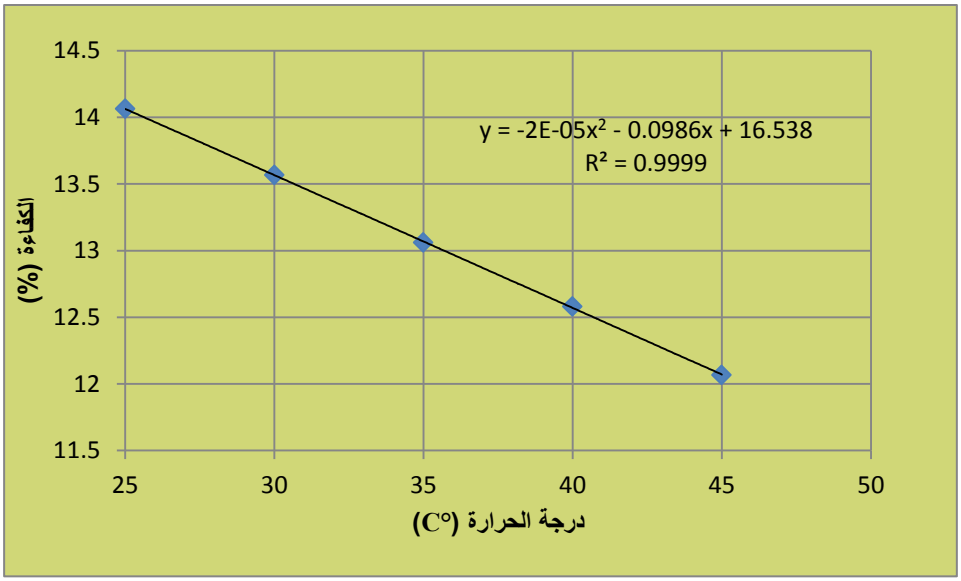


الشكل (4): يمثل تغيرات تيار قصر الدارة بدلالة درجة الحرارة

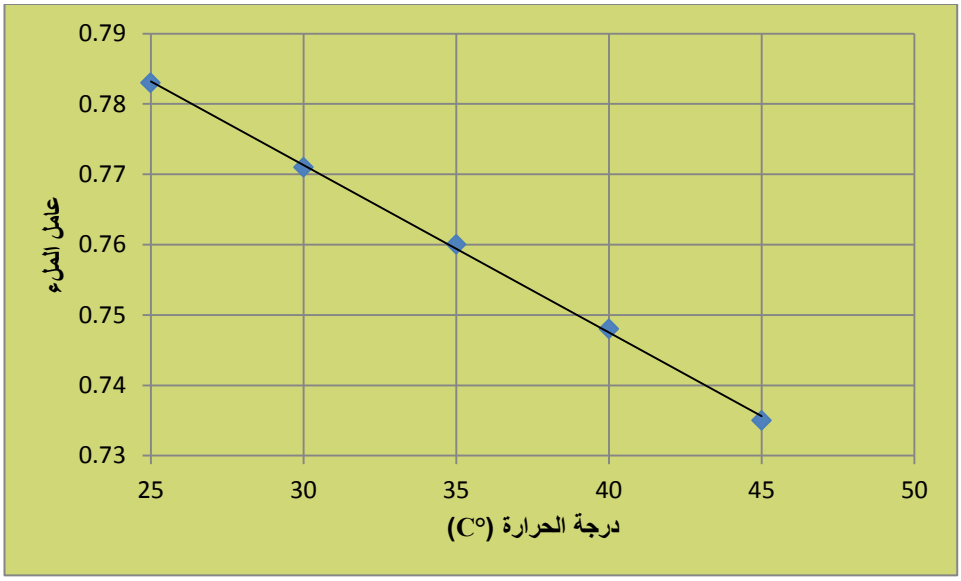
وفي يوم 2019/10/14 وعند الساعة 12 وعند الزاوية الأفقية :

درجة الحرارة	الاستطاعة العظمى(W)	الكفاءة	عامل الملء
45	6.29	12.0671	0.735
40	6.46	12.5792	0.748
35	6.63	13.0612	0.76
30	7.14	13.5675	0.771
25	7.2	14.0647	0.783

الجدول (3) تأثير درجة الحرارة على كفاءة الخلية الشمسية



يمثل الشكل(5): علاقة الكفاءة بدرجة الحرارة



الشكل (6) تغيرات عامل الملء بدلالة درجة الحرارة

يتضح من الجداول السابقة تغير بارامترات الخلية الشمسية مع تغير درجة الحرارة عند شدة إشعاع (78 klux)، حيث أنه بزيادة درجة الحرارة فان الكثير من الالكترونات ستكون قادرة على التحرك من عصابة التكافؤ إلى عصابة الناقلية، علاوة على الالكترونات الإضافية منها في عصابة الناقلية والثقوب في عصابة التكافؤ التي تؤدي إلى زيادة تيار الإشباع، مما يؤدي إلى تناقص جهد الدارة المفتوحة بمقدار (3×10^{-3}V/°C)، هذا التناقص في الجهد يسمح لحاملات الشحنة المتهيجة حراريا أن تعبر الوصلة في كلا الاتجاهين، ولكن تيار قصر الدارة يزداد بمقدار (6×10^{-4}A/°C)، ويؤدي بالتالي إلى تناقص عامل الملء بمقدار (2.4×10^{-3}/°C) وبالنتيجة تناقص كفاءة الخلية بمقدار (0.101%/°C) .

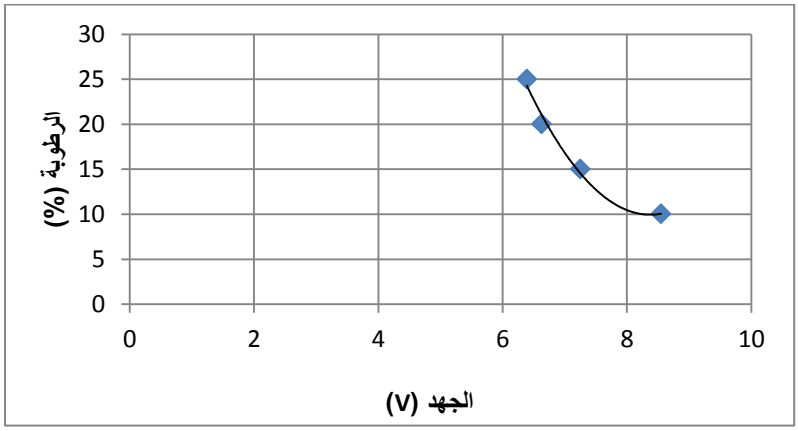
ثالثا: دراسة تأثير الرطوبة على أداء الخلية الشمسية

وفقًا لحقيقة أن قشرة الأرض تتكون أساسًا من 70٪ من المياه ، فإن الطاقة التي تضرب الأرض تضرب بشكل غير مباشر المياه / المحيطات مما يساعد في زيادة مستوى الرطوبة.

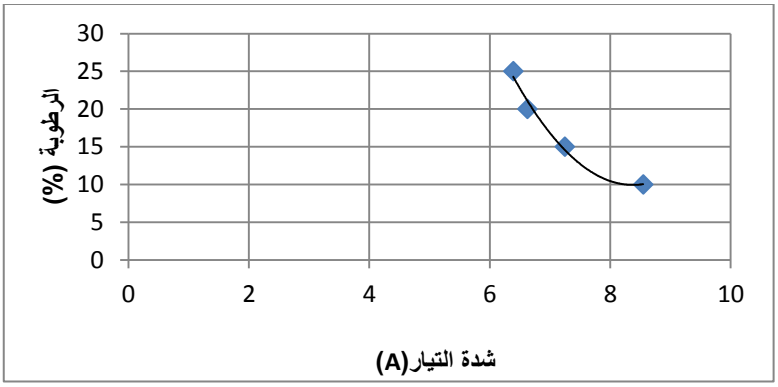
تم جمع البيانات وترتيبها في الجدول التالي وذلك ضمن مدة زمنية مقدارها عشر أيام في نهاية فصل الخريف ، وكانت النتائج كالتالي :

الرطوبة (%)	الجهد	شدة التيار	الاستطاعة الكهربائية P_{MPP} (W)
10	15	0.56	8.55
15	14.5	0.5	7.25
20	14.4	0.46	6.624
25	14.2	0.45	6.39

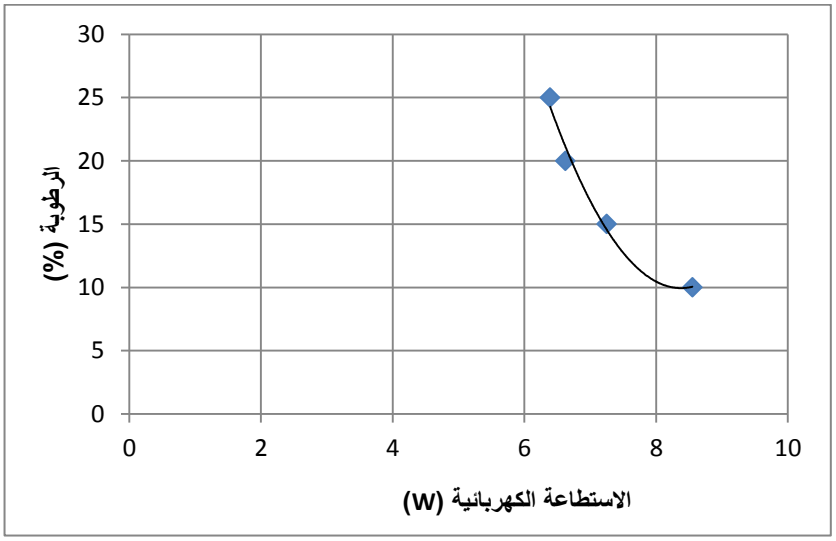
الجدول (4) تأثير الرطوبة على الجهد الفعلي للخلية الشمسية



الشكل(6) يبين تأثير الرطوبة على الجهد الفعلي للخلية الشمسية



الشكل(7) يبين تأثير الرطوبة على التيار الفعلي للخلية الشمسية



الشكل(8) يبين تأثير الرطوبة على الاستطاعة الكهربائية للخلية الشمسية

نستنتج أن للرطوبة تأثيراً على الخلايا الشمسية التي تخلق عقبات أمام طاقة الضوء، مما يجعل الجهاز يعمل بكفاءة أقل مما يمكن أن يكون بدونها.

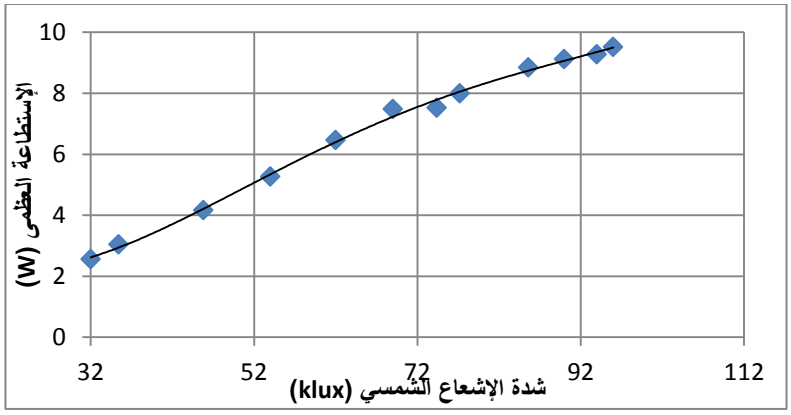
عندما يصطدم الضوء المكون من الطاقة (الفوتون) بطبقة المياه التي هي أكثر كثافة، فإن الانكسار يؤدي إلى تقليل شدة الضوء الذي يظهر في الواقع السبب الجذري لتناقص الكفاءة. وأيضا فإن تبعثر الضوء وانكساره يؤدي إلى توهين الإشعاع الشمسي. بسبب ما سبق فإن الرطوبة تؤثر سلبا على الخلية الشمسية.

رابعا: دراسة تأثير شدة الإشعاع الشمسي على أداء الخلية الشمسية :

تتأثر شدة الإشعاع الشمسي قبل وصوله إلى الأرض بعاملين أساسين هما: الغلاف الجوي و الزوايا الشمسية التي يسقط بها الإشعاع على الأرض والتي يمكن من خلالها توقع شدة الإشعاع في موقع معين من الأرض اعتمادا على مكانه من الكرة الأرضية والزمن(اليوم والشهر والسنة) ، يبين الجدول (5) تغيرات شدة الاشعاع الشمسي والاستطاعة العظمى للخلية الشمسية

الاستطاعة العظمى(W)	شدة الإشعاع الشمسي(klux)
9.52	96
9.28	94
9.12	90
8.84	85.6
8	77.2
7.52	74.4
7.48	69
6.46	62
5.27	54
4.16	45.8
3.04	35.4
2.56	32

الجدول (5) تغيرات شدة الاشعاع الشمسي والاستطاعة العظمى للخلية الشمسية



الشكل (9): يوضح علاقة الاستطاعة العظمى بشدة الإشعاع الشمسي

نستنتج أنه كلما زادت شدة الضوء الوارد أي ازداد عدد الفوتونات الساقطة على سطح الخلية الشمسية ازداد عدد الإلكترونات والثقوب المنشأة بواسطة تلك الفوتونات (حيث أنه يمكن لكل فوتون إنشاء زوج إلكترون–ثقب) وبالتالي زيادة الاستطاعة الكهربائية للخلية .

الخاتمة :

أظهرت النتائج التجريبية عند دراسة تأثير العوامل الجوية (الغبار، الرطوبة ، درجة الحرارة، شدة الإشعاع الشمسي) على أداء الخلية الشمسية :

- ✓ ترسب وتراكم الغبار المحمول جواً على الخلايا الشمسية تسبب في حدوث انخفاض كبير في تيار قصر الدارة ، مما يؤدي إلى تقليل كفاءة الخلايا الشمسية، ويرجع هذا التأثير إلى انخفاض النفاذية التي تتأثر بكثافة ترسب الغبار وأحجام الجسيمات
- ✓ زيادة درجة حرارة تؤدي إلى زيادة تيار الإشباع، مما يؤدي إلى تناقص جهد الدارة المفتوحة بمقدار ($3\times10^{-3}V/°C$)، هذا التناقص في الجهد يسمح لحاملات الشحنة المتهيجة حراريا أن تعبر الوصلة في كلا الاتجاهين، ولكن تيار قصر الدارة يزداد بمقدار ($6\times10^{-4}A/°C$)، ويؤدي بالتالي إلى تناقص عامل الملء بمقدار ($2.4\times10^{-3}/°C$) وبالنتيجة تناقص كفاءة الخلية بمقدار ($0.101\%/°C$)
- ✓ الرطوبة تؤثر سلبا على الخلية الشمسية، بسبب تبعثر الضوء وانكساره الذي يؤدي إلى توهين الإشعاع الشمسي
- ✓ زيادة شدة الإشعاع الشمسي الوارد يؤدي إلى ازداد عدد الفوتونات الساقطة على سطح الخلية الشمسية وبالتالي زيادة الاستطاعة الكهربائية للخلية

المراجع العلمية

1-RYAD, M.; MARTIN, H.; SIEFAN, R.; GUNTHER, S. *Comparison of Modelled and Measured Tilted Solar Irradiance for Photovoltaic Applications.* MDPI, ENERGIES, Received: 9 August 2017; Accepted: 16 October 2017; Published: 25 October (2017).

2- **Bailey، Robert** L. 1980. *Solar* Electrics Research and *Development.* Ann Arbor، MI: Ann Arbor Sciences; pp. 2-186.

3- **Cheremisinoff**، Paul N.; Dickinson، William C. (eds.). 1980. *Solar* Energy *Technology* Handbook،*Part* A. New York، NY: Marcel Dekker، Inc.; pp. 1-167.

4- **Dixon، A.E.;** Leslie، J.D. (eds.). 1979. *Solar* Energy .e Conversion. New York، NY: Pergamon Press; pp. 1-37.

5- **Rauschenbach**، H.S. 1980. *Solar Cell* Array Design • Handbook. New York، NY: Van Nostrand Reinhold Co.; pp. 6-14، 155-160.

6- **1. Green M، Solar Cells: Operating Principles، Technology، and System Applications**، Chap. 1،Prentice Hall، Englewood Cliffs، NJ، 1–12 (1982).

7- Potscavage Jr، William J. **Physics and engineering of organic solar cells**. Diss. Georgia Institute of Technology، 2010.

8- Jager، Klaus، Olindo Isabella، and Arno HM Smets. "Rene'ACMM، Van Swaaij، Miro Zeman،"." **Solar Energy fundamentals، technology، and systems** (2014).

9- Zhang، Chunfu، et al. "**A simple and efficient solar cell parameter extraction method from a single current-voltage curve**." Journal of applied physics 110.6 (2011): 064504.