مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٧) العدد(٦) ٢٠٢٣
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (7) No. (6) 2023

تصميم نموذج مخبري لخلية شمسية صبغية ودراسة تأثير لون الصباغ على كفاءتها

أ. د. علي خضور *
م. أحمد مصطفى **
م. لبانه طحبوش ***

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٣/٦/١٨ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٣/٨/٧)

□ ملخّص□

تعتبر الطاقة الشمسية من إحدى مصادر الطاقات المتجددة التي يمكن الحصول من خلالها على الطاقة الكهربائية باستخدام الخلايا الشمسية، ويهدف هذا البحث إلى تصميم نموذج مخبري لخلية شمسية صبغية تُعدّ من الجيل الثالث للخلايا الشمسية. تتكون الخلية من شريحتين زجاجيتين مطلي كل منهما بطبقة موصلة وشفافة من أكسيد القصدير المشبع بالإنديوم يتوضع بينهما ثنائي أكسيد التيتانيوم والصبغة والالكتروليت السائل.

يعتمد مبدأ هذه الخلية على امتصاص الفوتونات من الضوء الداخل إلى الخلية عن طريق جزيئات الصباغ ليتم تحرير الإلكترونات التي تتحرك عبر البنية المسامية لطبقة ثنائي أكسيد التيتانيوم إلى الطبقة الموصلة من زجاج ITO (indium tin oxide) وتنتقل عبر الدرارة الخارجية إلى الالكترود المضاد ويتم تعويض الإلكترونات عن طريق الكتروليت الخلية. تم تحضير ثلاث خلايا شمسية صبغية بالأصبغة التالية (أخضر وأزرق وأحمر) تبين نتيجة الدراسة بأن الصباغ الأخضر يعطي أعلى كفاءة للخلية الشمسية إذ تمت الدراسة عن طريق أخذ قراءات الجهد والتيار للخلايا الثلاثة لمدة ثلاثين يوماً خلال شهر كانون الثاني وعلى أربع فترات خلال النهار.

الكلمات المفتاحية: الخلية الشمسية الصبغية، ثنائي أكسيد التيتانيوم، الصباغ، الالكترود.

*أستاذ– قسم هندسة تقانات الطاقات المتجدّدة–كلية الهندسة التقنية –جامعة طرطوس.
**حاصل على شهادة ماجستير، قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سورية.
***حاصلة على شهادة ماجستير، قسم هندسة تقانات الطاقات المتجددة، كلية الهندسة التقنية، جامعة طرطوس، سورية.

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٧) العدد(٦) ٢٠٢٣
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (7) No. (6) 2023

Design a laboratory model of a dye-sensitized solar cell and studying the effect of pigment color on its efficiency

Dr. Ali Khadour *
Ahmad Mostafa **
Loubana Tahboush***

(Received 18/6/2023 . Accepted 7/8/2023)

□ ABSTRACT

Solar energy is one of the renewable energy sources through which electrical energy can be obtained using solar cells, and this research aims to design a laboratory model of a dye- sensitized solar cell, which is a third generation of solar cells. The cell consists of two glass strips each coated with a conductive and transparent layer of indium-saturated tin oxide between titanium dioxide, dye and liquid electrolyte.

The principle of this cell is based on the absorption of photons from the light entering the cell by pigment molecules to be released electrons that move through the porous structure of the titanium dioxide layer to the conductive layer of ITO glass (indium tin oxide) and move through the external circuit to the counter electrode and the electrons are compensated by the cell electrolyte.

Three dye-sensitized solar cells were prepared with the following dyes (green, blue and red), as the result of the study shows that the green pigment gives the highest efficiency of the solar cell, as the study was done by taking voltage and current readings of the three cells for thirty days during the month of January and four periods during the day.

Keywords: dye-sensitized solar cells, titanium dioxide, pigment, electrode.

* **Professor, Department of Renweble energy Engineering, Faculty of Techanical Engineering, Tartous University.**

** **Holding a master's degree, Department of renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria.**

*** **Holding a master's degree, Department of renewable Energy Technologies Engineering, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Syria.**

المقدمة:

أصبحت أزمة الطاقة من أهم المشاكل التي يواجهها العالم حالياً بسبب الزيادة الكبيرة والمستمرة في استهلاكها والذي يقابله احتياطي محدد من موارد الطاقة التقليدية، فضلاً عن الارتفاع الكبير في أسعار الوقود والآثار البيئية التي تسببها مصادر الوقود التقليدية. لذا عمد الباحثون إلى التفكير بتطوير مصادر جديدة وبديلة لها، وتوجهت الأنظار إلى الطاقات المتجددة وعلى رأسها الطاقة الشمسية، وبدأت البحوث والدراسات لمواجهة حقيقة نضوب الوقود التقليدي واستبداله بطاقة متجددة غير ناضبة وغير ملوثة للبيئة، كتوليد الطاقة الكهربائية من الخلايا الشمسية بكافة أنواعها. وسوف ندرس في بحثنا هذا الخلايا الشمسية الصبغية وهي تقنية جديدة تستخدم لصناعة الخلايا الشمسية وابتكر هذه التقنية العالمين Michael Grätzelو O'Reganفي عام ١٩٩١. وتعرف أيضاً هذه الخلايا باسم العالم Grätzel ، ويطلق عليها خلايا غريتسل (Grätzel Cell)، وتتكون الخلية الشمسية الصبغية من طبقتين من الزجاج المُعالج المُوصل بينهما طبقة من ثاني أوكسيد التيتانيوم تُطلى بالصباغ ويوضع عليها محلول الكتروليتي (وهو عبارة عن مادة تحتوي على أيونات تجعل من المادة موصلة للكهرباء)، وتعتبر هذه الخلايا مهمة جداً لأنها تصنع من مواد غير مكلفة، ولا تتطلب أجهزة معقدة لتصنيعها، وتتميز أيضاً بإمكانية استخدامها في ظروف الإضاءة الخفيفة ويمكن أن تولد الطاقة الكهربائية من الإنارة المنزلية وليس بالضرورة من أشعة الشمس المباشرة، وتزداد كفاءتها في حال ارتفاع درجات الحرارة على خلاف الخلايا الشمسية المعتمدة على أشباه الموصلات، ويمكن أن تصنع في صورة ألواح مرنة ذات قوة ميكانيكية عالية[1] .

تعددت البحوث والدراسات العلمية التجريبية التي تهدف إلى تحسين كفاءة الخلايا الشمسية الصبغية.

حيث قام الباحث Robert [3] عام 2012 بدراسة هدفت لتصميم خلايا شمسية حساسة للصبغة ذات بنية صلبة وبكفاءة عالية ، وقد استنتج أنه يمكن تحسين كفاءة الخلايا الشمسية الحساسة للصبغة المستخدمة للإلكتروليت السائل عن طريق استبداله بطبقة صلبة وهي عبارة عن مركب رقيق يسمى CsSni وهو مزيج من السيزيوم والقصدير واليود يتم إضافته بشكل سائل ثم يتحول إلى كتلة صلبة مما يحد من تسرب الالكتروليت بين طبقات الزجاج.

وقام الباحث Zhang [4] عام 2017 بإجراء دراسة هدفت لاختبار عدة مواد لأقطاب الخلية الشمسية الصبغية، وتبين أن أوكسيد القصدير المشبع بالفلور FTO وأوكسيد القصدير المشبع بالانديوم ITO الأكثر استخداماً والأفضل كأقطاب في الخلية الشمسية الصبغية لأنهما أظهرا شفافية وموصلية كهربائية عالية عند العمل في درجات الحرارة العادية.

وكذلك قام الباحث Nipun [5] عام 2017 بإجراء دراسة تضمنت استخدام الأصباغ الطبيعية كمواد محسنة في الخلايا الشمسية الحساسة للصبغة، وتوصل الباحث إلى أنه يمكن استخدام أصبغة طبيعية تستخرج من العديد من الفواكه كالتوت وصباغ الورد بحيث تعطي أعلى الكفاءات، ولوحظ أن استخدام صبغة ذات لون غامق يعطي كفاءة أعلى من لون آخر وذلك لأن اللون الداكن يتوافق مع زيادة امتصاص الضوء علاوة على ذلك أن هذه الأصباغ متوفرة بكثرة وغير مكلفة ويجب الانتباه إلى خلوها من الشوائب عند الاستخدام وذلك من أجل تحقيق مردود أعلى.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى الحصول على مصدر جديد ورخيص للطاقة من خلال تصميم نموذج مخبري لخلية شمسية صبغية، ودراسة تأثير لون الصباغ على كفاءتها وتحديد الصباغ الذي يحقق أعلى مردود.

طريقة البحث ومواده:

سيتم في هذا البحث إنشاء نموذج مصغر لخلية شمسية صبغية وإجراء الدراسة عليها، بحيث يتم تطبيق عدة ألوان من الصباغ على الخلية الشمسية المصغرة وتحديد مردود كل منها، ليتم بعدها تحديد لون الصباغ الأمثل الذي يحقق مردود أعلى.

المواد الصبغية الحساسة للضوء المستخدمة في الخلايا الشمسية الصبغية:

المواد الصباغية عبارة عن مركبات كيميائية (مادة ملونة يمكنها أن تضفي لونها على مادة أخرى)، ويمكنها امتصاص وعكس الضوء بأطوال موجات انتقائية ضمن المجال المرئي للطيف الكهرومغناطيسي، والصباغ بشكل عام مادة يتم تطبيقها على نوع ما من المنتجات سواء أكانت نباتاً أم نسيجاً أم جلداً أو خيوط صنعية وتركيبية، ومن أجل تطبيق الأصبغة على النسيج نحتاج إلى وسط سائل (ماء أو هواء مسيل) ليتمكن من الانحلال أو الانتشار فيه. [6]

تعمل المواد الصبغية الحساسة للضوء كمادة ماصة للضوء في الخلايا الشمسية الصبغية، لذلك يجب أن يتمتع الصباغ بمواصفات أهمها:

- امتصاصية جيدة للأشعة الضوئية.
- أن تُطبّق على المادة المراد صباغتها بلون كثيف وثابت تجاه تأثير العوامل الكيميائية والطبيعية مثل الضوء والغسيل.
- استقرار كيميائي جيد.

يجب أن تكون طبيعة الحبيبات الصبغية غير قابلة للانحلال في سوائل الالكتروليت على المدى البعيد للمحافظة على كفاءة الخلية، وتم تقسيم المحسسات الضوئية المستخدمة في الخلايا الشمسية الصبغية إلى نوعين أساسيين وهما:

- الأصبغة اللاعضوية
- الأصبغة العضوية.

أولاً: الأصبغة اللاعضوية:

تعتبر الأصباغ غير العضوية ممتازة بشكل عام في ثبات الضوء، ومقاومة الحرارة، ومقاومة التسامي، وعدم الذوبان في المذيبات العضوية وعوامل تطوير اللون، وما إلى ذلك، ولكن درجة لونها غير واضحة، فهي غير شفافة، وقوة تلوينها صغيرة، كما أن ثباتها الكيميائي ومقاومتها للغازات الجوية غالباً ما يكون معتدلاً، تشمل الأصبغة اللاعضوية المستخدمة في الخلايا الشمسية الصبغية المعقدات المعدنية مثل معقدات الروثنيوم مثل N3–Dye التي تتمتع بقدرة امتصاص جيدة ضمن مجال واسع من المجال المرئي كما أنها تمتلك زمراً كربوكسيلية تمكنها من الالتصاق على السطح البنيوي لمواقع التيتانيوم من طبقة ثنائي أكسيد التيتانيوم، مما يؤدي إلى ضخ إلكتروني فعال من معقد الروثينيوم إلى ثنائي أكسيد التيتانيوم. [11]

ثانياً: الأصبغة العضوية:

تشمل الأصبغة العضوية المستخدمة في الخلايا الشمسية الصبغية الأصبغة العضوية النباتية الطبيعية والأصبغة العضوية المحضرة مخبرياً، ومن المتطلبات الأساسية للأصبغة العضوية الامتصاصية العالية في المجال المرئي، إضافةً إلى احتواء بنية الصباغ مجموعات كربوكسيلية أو هيدروكسيلية قادرة على الالتصاق على السطح البنيوي لمواقع التيتانيوم من طبقة أكسيد التيتانيوم، وتوجد هذه الأصبغة في الأوراق والأزهار، ويمكن أن توجد في

الثمار. وتتراوح ألوانها بين الأزرق والبنفسجي والأخضر والأحمر. وأهم ما يميز هذه الأصبغة تغير لونها متأثرة بحموضة الوسط حيث تعطي في الوسط الحمضي اللون الأحمر وفي المعتدل تعطي اللون البنفسجي وفي الوسط الأساسي تعطي اللون الأزرق مثل: التوت البري والكرز والتوت الشوكي والزبيب الأسود والعنب الأحمر والبرتقال الدموي (الماوردي) والخوخ والفريز.

وإن اختلاف الثمار في ألوانها يرجع إلى اختلاف في الصبغات الأساسية التي تحتويها هذه الثمار فالثمار الخضراء والخضر الورقية يرجع اللون الأخضر إلى اللون الأخضر الموجود الكلوروفيل الخضراء والتي تكون سائدة على باقي الصبغات، بينما الثمار الصفراء تتغلب فيها صبغة الكاروتين على باقي الصبغات وهناك الثمار الوردية التي تسود فيها صبغة الأنثوسيانين أما الثمار الحمراء فيعزى اللون الأحمر إلى وجود صبغة اللايكوبين فيها وتغلبها على باقي الصبغات ، وعادة تكون الصبغات العضوية المحضرة والمستخدمة في صناعة الخلية الشمسية الصبغية هي:

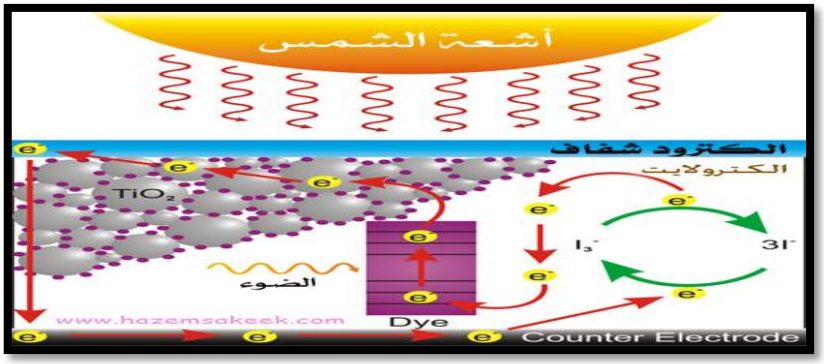
- الصبغة الحمراء.
- الصبغة الخضراء.
- الصبغة الزرقاء.

وتتمتع الأصبغة العضوية المحضرة مخبرياً بمزايا عديدة منها:

- تنوع البنى الجزيئية، وبالتالي من السهل اصطناعها وتطويرها.
- انخفاض تكلفة انتاجها مقارنةً مع الأصبغة اللاعضوية (معقدات الروثينيوم) بالإضافة إلى كونها صديقة للبيئة.
- مردود الخلايا الشمسية الصبغية القائمة على هذه الأصبغة جيد مقارنة مع الخلايا القائمة على الأصبغة اللاعضوية، ومن أشهر الأصبغة العضوية المستعملة في الخلايا الشمسية الصبغية: أصبغة الكومارين، أصبغة الإندولين.[9,10]

آلية عمل الخلية الشمسية الصبغية:

تعتمد آلية عمل الخلايا الشمسية الصبغية على العمليات الكهروكيميائية الضوئية بحيث تعتمد على تجديد المواد الكيميائية المتفاعلة ويمكن تشبيه عمل الخلايا الصبغية بعملية التركيب الضوئي التي تحدث في النباتات. ولتوليد الطاقة الكهربائية تستخدم الخلايا الصبغية صباغ عضوي قادر على امتصاص موجات واسعة من الأطوال الموجية الصادرة عن أشعة الشمس بالإضافة إلى جزيئات من شبه الموصل ثنائي أكسيد التيتانيوم Tio2 تغلف جزيئات ثنائي أكسيد التيتانيوم بالصباغ وتوضع بين قطبين كهربائيين في محلول الكتروليتي يحتوي أيونات اليود تمتص جزيئات ثنائي أكسيد التيتانيوم بمساعدة الصباغ الأشعة فوق البنفسجية والفوتونات الضوئية مما يتسبب في إثارة الإلكترونات الحرة في نطاق التوصيل (وهو النطاق الذي تكون فيه الإلكترونات حرة الحركة) الخاص بثنائي أكسيد التيتانيوم وتتحرك الأيونات والإلكترونات إلى قطبي المحلول الالكتروليتي ، وفي نفس الوقت تقوم أيونات اليود بالتقاط الإلكترونات الحرة لتتحول إلى ذرات اليود المعتدلة كهربائيا وتجدد الصباغ العضوي وينتج عن ذلك نشوء تيار كهربائي. [7,8]



الشكل (1) آلية عمل الخلية الشمسية الصبغية.[12]

تحضير الخلية الصبغية :

تم تنظيف شريحتين زجاجيتين من TiO_2 (ثنائي أكسيد التيتانيوم) بأبعاد(3,4 cm) بالماء المقطر لمدة ٨ دقائق ثم بالإيتانول لمدة ٨ دقائق ومن ثم تجفيفها.

تحضير الإلكترود الضوئي:

أولاً: تحضير مسحوق التيتانيوم: يتم تحضير عجينة ثاني أكسيد التيتانيوم من خلال وضع 10gمن مسحوق TiO_2 في 3 مل من حمض الخل لتصبح عجينة لزجة ثم يتم تقليبه جيدا قبل الإستخدام بواسطة قضيب زجاجي أو أداة مماثلة. [2]

الشكل (٢) ثاني أكسيد تيتانيوم .

الشكل (٣) عجينة ثاني أكسيد تيتانيوم.

إن طريقة doctor blade هي الطريقة الأبسط والأكثر استخداما لوضع عجينة التيتانيوم على الركيزة الزجاجية من الجهة الموصلة للكهرباء باستخدام هذه التقنية يتم تحديد سمك طبقة التيتانيوم والتي تكون بسمك الفاصل الموضوع على كلا الجانبين باستخدام شريط سكوتش بسماكة حوالي 0.12 مم (120ميكرومتر) يوضع على الجانب الموصل من الأعلى حيث نضع شريطين متوازيين من الشريط على حواف اللوحة الزجاجية نغطي حوالي 5مم من الزجاج ،منطقة الزجاج المكشوف في منتصف الزجاج هي المكان الذي سيتم فيه وضع التيتانيوم ،ستوفر الحواف المقنعة بالشريط مجالاً للإحكام والإغلاق والتلامس وكذلك نستفيد من الشريط اللاصق في تثبيت اللوحة الزجاجية في مكانها على الطاولة بالتالي سيمنع اللوح من التحرك،نضع جزءا من عجينة التيتانيوم بالقرب من الحافة العلوية للشريحة الزجاجية ثم باستخدام الشفرة أو أداة مماثلة ننشر العجينة على اللوحة بدعم من الأشرطة اللاصقة على كلا الجانبين ،

يجب ملء الفجوة بين شرائط الشريط اللاصق بطبقة من عجينة التيتانيوم ، نكرر العملية حتى نحصل على طبقة متجانسة وعلى سمك واحد[3,4] .

الشكل (٤) قياس سماكة اللاصق.

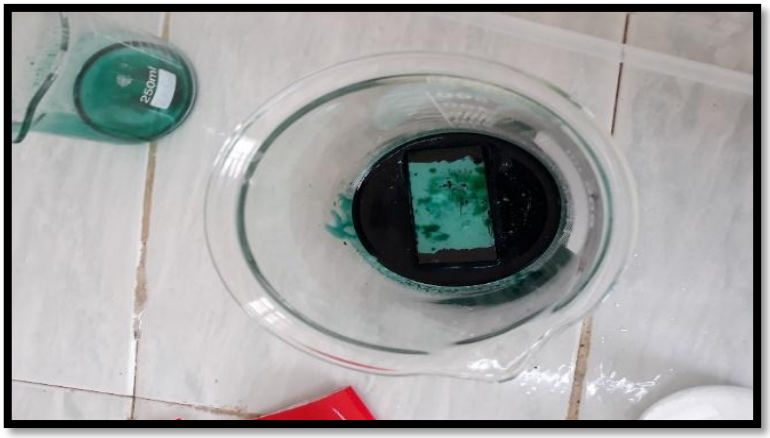
الشكل (٥) وضع العجينة على الشريحة.

نقوم بعدها بإزالة الأشرطة اللاصقة ثم نضع اللوح الزجاجي المطلي حديثا في أو على جهاز تسخين ونضبط درجة الحرارة إلى الدرجة 230درجة مئوية ،أثناء التسخين نلاحظ أن طبقة التيتانيوم تتحول إلى اللون البني وتطلق أبخرة ، هذا يتوافق مع تبخر واحتراق المواد الكيميائية غير السامة المستخدمة في صناعة العجينة ، بعد 40 إلى 45 دقيقة عند 230 درجة مئوية تبدو طبقة التيتانيوم المخبوزة بيضاء مما يشير إلى أن عملية التلبيد قد انتهت .

الشكل(٦) وضع الشريحة في فرن التسخين.

ثانياً: وضع الصبغة :

إن ثاني أكسيد التيتانيوم عبارة عن شبه موصل أبيض لا يمتص الضوء المرئي ،لذلك من الضروري تلوين قطب التيتانيوم بصبغة يمكنها امتصاص أكبر قدر ممكن من الضوء في طيف الضوء المرئي ،يتم نقع قطب التيتانيوم بالصبغة (صباغ أخضر) يمكن أن يستغرق التلوين الكامل من عدة دقائق إلى عدة ساعات، كلما طالت فترة نقع القطب في الصبغة كلما كانت الصبغة أفضل، بعدها نقوم بإزالة القطب الملطخ وننظفه بعناية باستخدام منديل ورقي يمكن أن نستخدم مجفف شعر لتجفيف القطب بشكل أسرع ،ليست مشكلة إذا كان وسط الصبغة غير متجانس[5].



الشكل (٧) غمر الشريحة في الصبغة.

ثالثاً: تحضير الإلكترود المضاد:

يتم تحضير الالكترود المضاد عن طريق وضع الغرافيت على الطبقة الزجاجية الثانية من ITO على الجهة الموصلة.

رابعاً: تحضير إلكتروليت الخلية: نضيف 2g من يوديد البوتاسيوم و1g من اليود إلى 25ml من الإيتلين غليكول ويحرك المزيج لمدة 15 دقيقة حتى يصبح متجانس فنحصل على محلول غني بأيونات اليود ($I^-\backslash I_3^-$) التي تمثل زوج الأكسدة والإرجاع الذي تعتمد عليه الخلية في عملها. تُمَثِّلُ زوج الأَكسَدَة والإِرْجَاع الذي تَعتَمِدُ عليه الخَلِيَّةُ في عَمَلِها.

الشكل (٨) إلكتروليت الخلية.

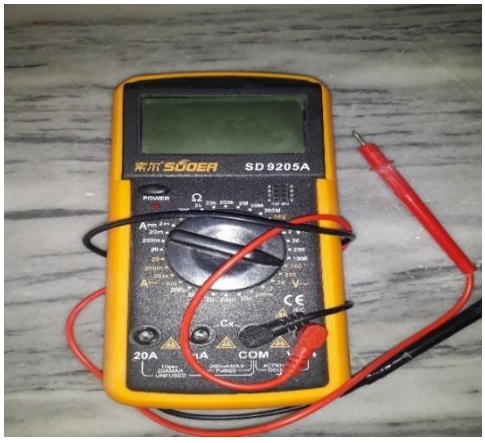
خامساً: تجميع أقطاب الخلية الشمسية الصبغية :

عندما يتم وضع الأقطاب معاً فإن الجانبين النشيطين من الإلكترود الضوئي والإلكترود المضاد سيواجهان بعضهم بمعنى آخر طبقة التيتانيوم الملطخة تواجه الجرافيت في القطب الكهربائي المضاد سيتم ملء الفراغ المتبقي بين اللوحين الزجاجيين بالإلكتروليت ويتم كبس القطبين باستخدام ملاقط تثبيت.[13,14,15]

الأجهزة والمقاييس المستخدمة في البحث:

- مقياس (Avometer) من النوع SD-9205Adigital Multimeter، وهو عبارة عن جهاز رقمي متعدد الاستخدامات يستخدم لأخذ القراءات الكهربائية مثل الجهد والتيار الكهربائي والمقاومة، ويتميز بسهولة الاستخدام ودقة القراءة، ويعطي قراءات واضحة ومباشرة.
- مقياس سماكة (teclock): مقياس السماكة المستخدم من النوع (SM-112) ومجال قياس السماكة (~0.01 10mm)، ودقة القياس (±15 µm)، ويستخدم لقياس سماكة المواد المختلفة مثل الزجاج والعدسات والمطاط والبلاستيك.
- الميزان الالكتروني: تبلغ حساسية الجهاز (1g)، ويعمل بجهد تغذية (3VDC)، ويمتلك ميزة التصفير التلقائي، ومزود بمؤشر للحمل الزائد أو انتهاء البطارية.
- جهاز تسخين كهربائي (memmert) وهو عبارة عن جهاز كهربائي يستخدم الحرارة الجافة لتسخين المواد، ويحوي بداخله على ترموستات رقمية للتحكم في درجة الحرارة ومزود بجدران عازلة للحفاظ على درجة الحرارة، ويمكن تشغيله للعمل بدرجات حرارة من ٥٠ إلى ٣٠٠ درجة مئوية.

توضح الأشكال (٩) و(١٠) و(١١) و(١٢) الأجهزة والمقاييس المستخدمة في البحث:



الشكل (٩) مقياس آفوميتر

الشكل (١٠) مقياس سماكة بالميكروم

الشكل (١١) ميزان الكتروني بالغرامات

الشكل (١٢) جهاز تسخين كهربائي

حساب مردود الخلية الشمسية الصبغية:

يعطى مردود الخلية الشمسية بالعلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{in} \times A} \qquad (1)$$

P_{max}: القدرة العظمى الخارجة من الخلية [w/m^2] .

P_{in}: شدة الضوء الساقط [W/m^2]١٠٠٠.

A : مساحة الخلية الشمسية المحضّرة [Cm^2]12.

النتائج والمناقشة:

تيار وفولتية الخلايا الشمسية الصبغية المحضرة:

تم تحضير ثلاثة خلايا صبغية باستخدام صبغات بألوان (أحمر–أزرق–أخضر) واستمرأخذ القراءات لمدة ثلاثين يوماً من شهر كانون الثاني ، حيث تم أخذ قيم الجهد والتيار بشكل يومي وخلال أربع فترات من النهارثم أخذ المتوسط اليومي لهذه القراءات

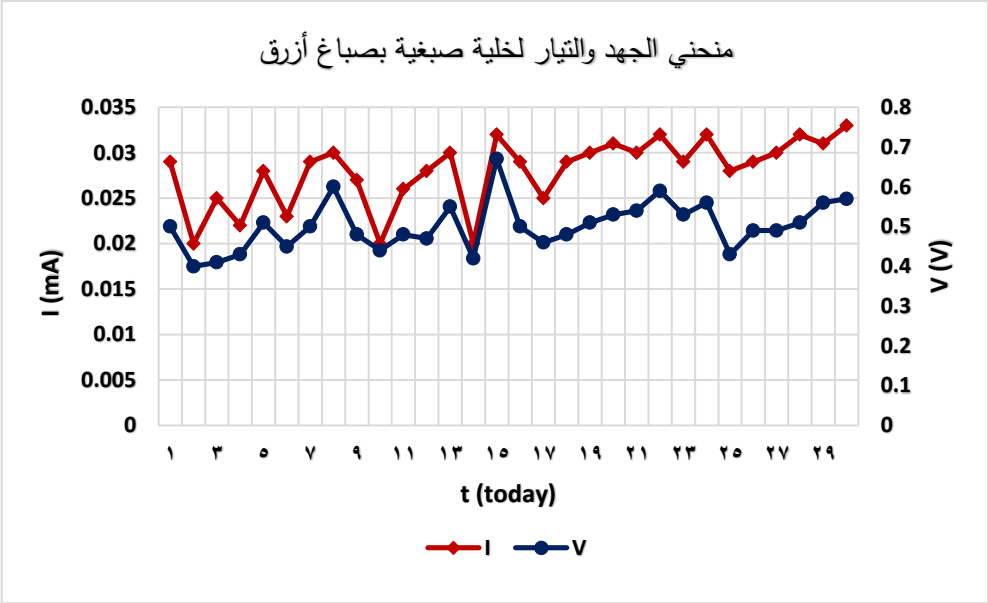
الشكل (١٣) الخلايا الصبغية الثلاثة المحضرة.

(a) خلية شمسية صبغية بصباغ أحمر، (b) خلية شمسية صبغية بصباغ أزرق، (c)خلية شمسية صبغية بصباغ أخضر.

يبين الجدول (1) القياسات الكهربائية للخلايا المصنعة وتتمثل بقياس الفولتية والتيار

اليوم	قيم الجهد والتيار لخلية صبغية بصباغ أزرق		قيم الجهد والتيار لخلية صبغية بصباغ أحمر		قيم الجهد والتيار لخلية صبغية بصباغ أخضر	
	(mA) I	(v) V	(mA) I	(v) V	(mA)I	(v) V
١	0.029	0.5	0.029	0.29	0.09	0.6
٢	0.02	0.4	0.028	0.28	0.096	0.5
٣	0.025	0.41	0.028	0.33	0.097	0.53
٤	0.022	0.43	0.027	0.41	0.088	0.47
٥	0.028	0.51	0.025	0.31	0.089	0.55
٦	0.023	0.45	0.027	0.43	0.09	0.58
٧	0.029	0.5	0.026	0.37	0.099	0.62
٨	0.03	0.6	0.025	0.38	0.087	0.46
٩	0.027	0.48	0.02	0.29	0.088	0.54
١٠	0.02	0.44	0.023	0.34	0.089	0.59
١١	0.026	0.48	0.027	0.4	0.09	0.56
١٢	0.028	0.47	0.02	0.27	0.1	0.56
١٣	0.03	0.55	0.026	0.43	0.11	0.49
١٤	0.02	0.42	0.02	0.3	0.13	0.49
١٥	0.032	0.67	0.03	0.5	0.1	0.78
١٦	0.029	0.5	0.027	0.42	0.099	0.55
١٧	0.025	0.46	0.025	0.37	0.09	0.52
١٨	0.029	0.48	0.03	0.38	0.097	0.5
١٩	0.03	0.51	0.024	0.33	0.09	0.53
٢٠	0.031	0.53	0.028	0.39	0.1	0.59
٢١	0.03	0.54	0.03	0.4	0.08	0.46
٢٢	0.032	0.59	0.024	0.31	0.1	0.61
٢٣	0.029	0.53	0.026	0.33	0.09	0.54
٢٤	0.032	0.56	0.029	0.38	0.11	0.6
٢٥	0.028	0.43	0.02	0.3	0.09	0.58
٢٦	0.029	0.49	0.026	0.33	0.088	0.45
٢٧	0.03	0.49	0.029	0.32	0.09	0.48
٢٨	0.032	0.51	0.02	0.26	0.098	0.51
٢٩	0.031	0.56	0.028	0.37	0.1	0.53
٣٠	0.033	0.57	0.029	0.38	0.11	0.54

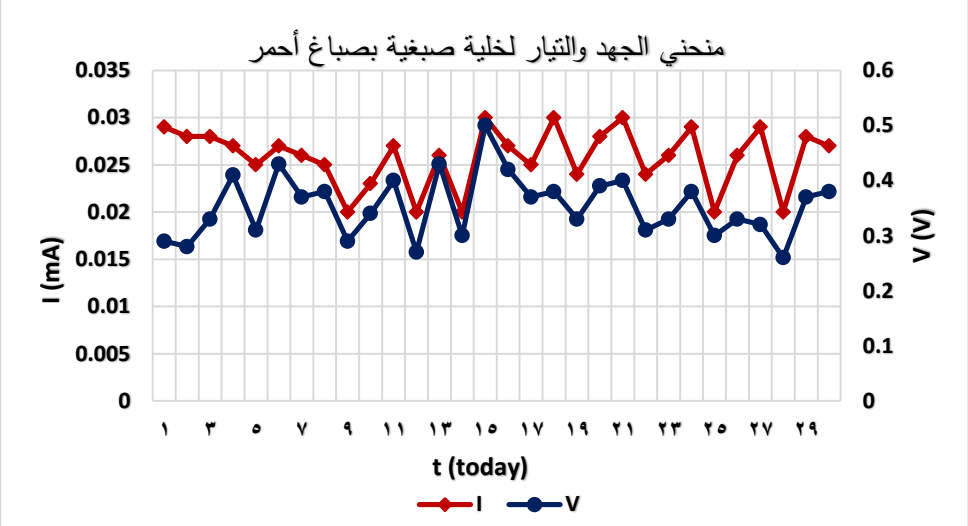
يبين الشكل (١٤) منحني تغيرات الجهد والتيار مع الزمن لخلية صبغية بصباغ أزرق.



الشكل (١٤) منحني تغيرات الجهد والتيار مع الزمن لخلية صبغية بصباغ أزرق.

نلاحظ من المنحني أن جهد الخلية الصبغية بصباغ أزرق يتراوح بين (0.4–0.7) V وأن أعلى قيمة كانت في اليوم 15 وبلغت V (0.67)، وأن تيار الخلية الصبغية بصباغ أزرق يتراوح بين mA (0.02–0.033) وأن أعلى قيمة كانت في اليوم 15 وبلغت mA (0.033).

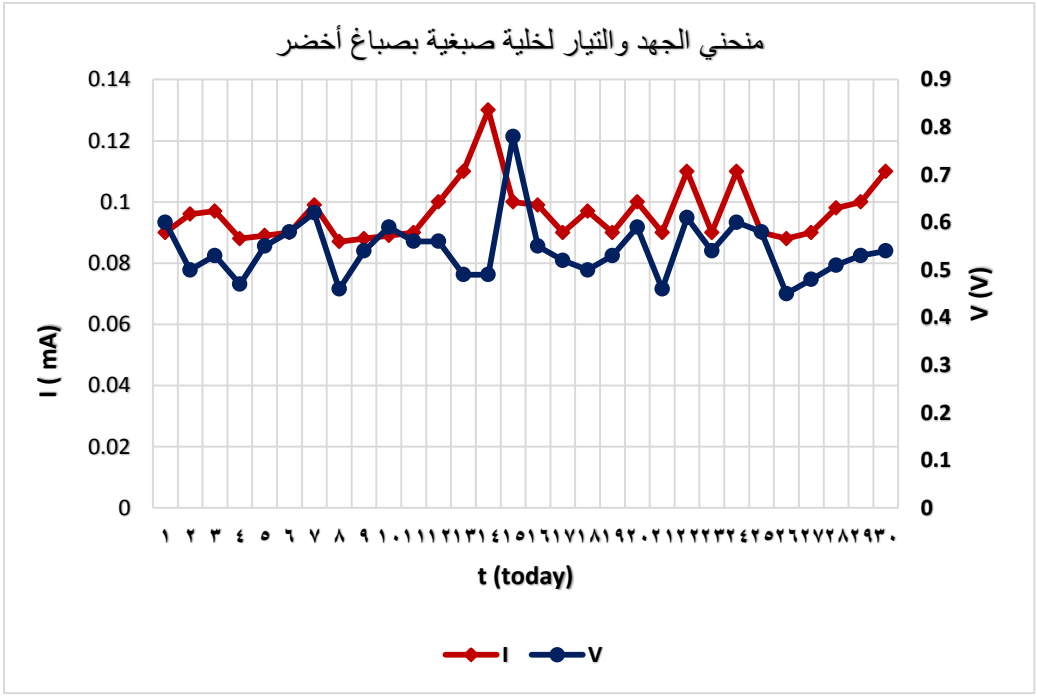
يبين الشكل (١٥) منحني تغيرات الجهد والتيار مع الزمن لخلية صبغية بصباغ أحمر.



الشكل (١٥) منحني تغيرات الجهد والتيار مع الزمن لخلية صبغية بصباغ أحمر>

نلاحظ من المنحني أن جهد الخلية الصبغية بصباغ أحمر يتراوح بين V (0.3–0.5) وأن أعلى قيمة كانت في اليوم 15 وبلغت V (0.5)، وأن تيار الخلية الصبغية بصباغ أحمر يتراوح بين mA (0.02–0.03) وأن أعلى قيمة كانت في اليوم 15 وبلغت mA (0.03).

يبين الشكل (١٦) منحني تغيرات الجهد والتيار مع الزمن لخلية صبغية بصباغ أخضر.

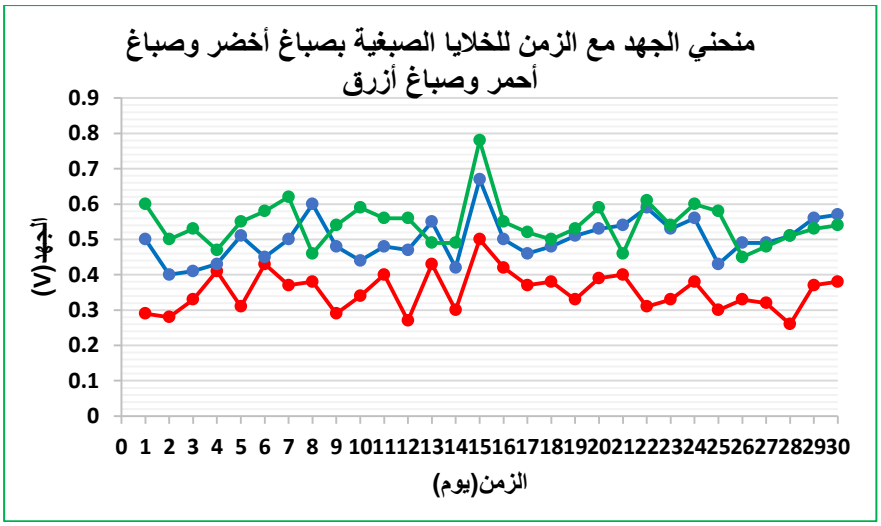


الشكل (١٦) منحني تغيرات الجهد والتيار مع الزمن لخلية صبغية بصباغ أخضر

نلاحظ من المنحني أن جهد الخلية الصبغية بصباغ أخضر يتراوح بين V (0.5–0.78) وأن أعلى قيمة كانت في اليوم 15 وبلغت V (٠.٧٨)، وأن تيار الخلية الصبغية بصباغ أخضر يتراوح بين mA (0.08–0.13) وأن أعلى قيمة كانت في اليوم 15 وبلغت **mA** (0.1).

مقارنة الخلايا الشمسية الصبغية المحضرة:

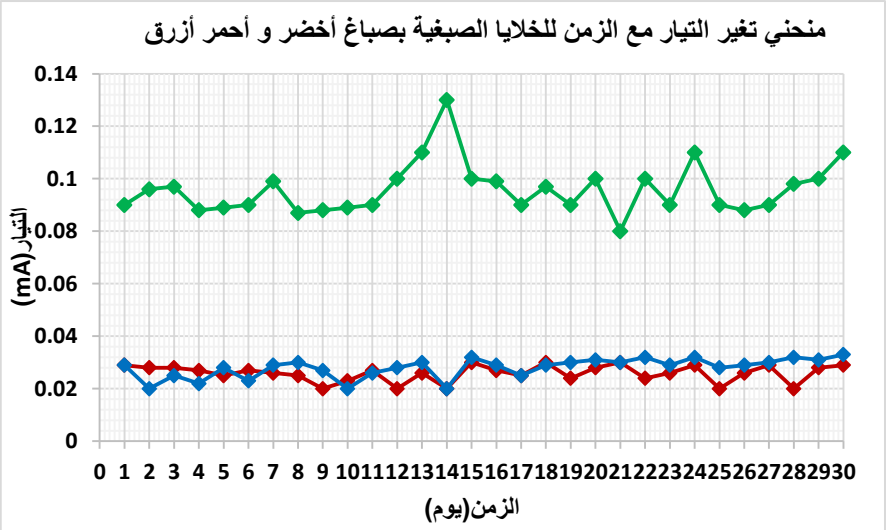
يبين الشكل (١٧) منحني تغيرات الجهد مع الزمن للخلايا الصبغية الثلاث بصباغ أخضر وصباغ أحمر وصباغ أزرق.



الشكل (١٧) منحني تغيرات الجهد مع الزمن للخلايا الصبغية الثلاثة بصباغ أخضر وصباغ أحمر وصباغ أزرق.

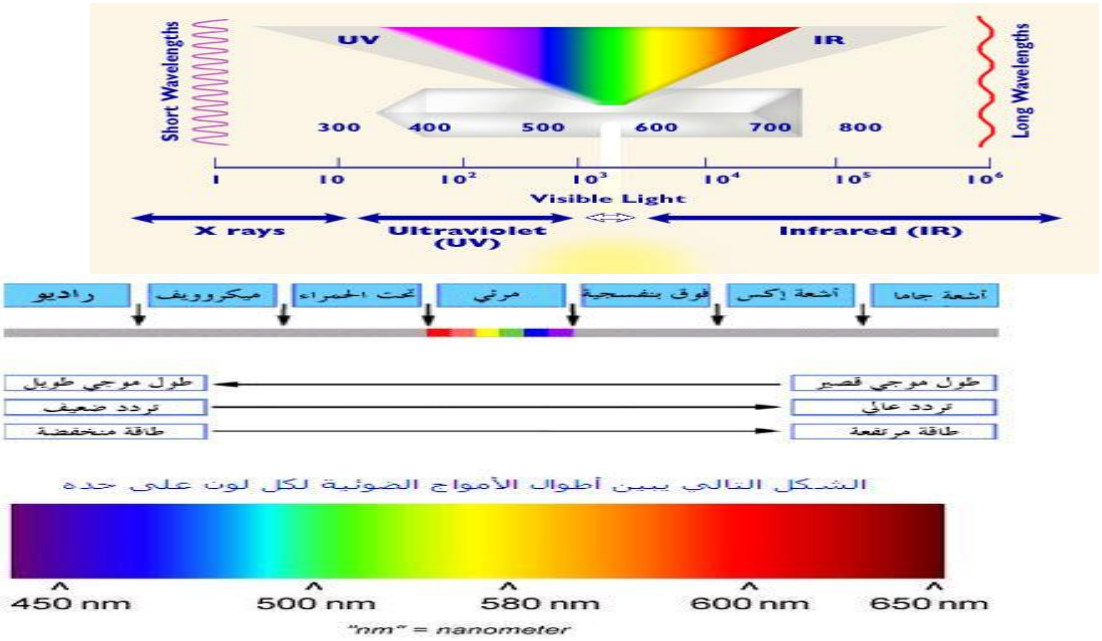
نلاحظ من المنحنيات الثلاثة أن الخلية الصبغية بصباغ أخضر أعطت أعلى جهد ومن ثم الخلية الصبغية بصباغ أزرق وبعدها الخلية الصبغية بصباغ أحمر.

يبين الشكل (١٨) منحني تغيرات التيار مع الزمن للخلايا الصبغية بصباغ أخضر وصباغ أحمر وصباغ أزرق.



الشكل (١٨) منحني تغيرات التيار مع الزمن للخلايا الصبغية الثلاثة بصباغ أخضر وصباغ أحمر وصباغ أزرق.

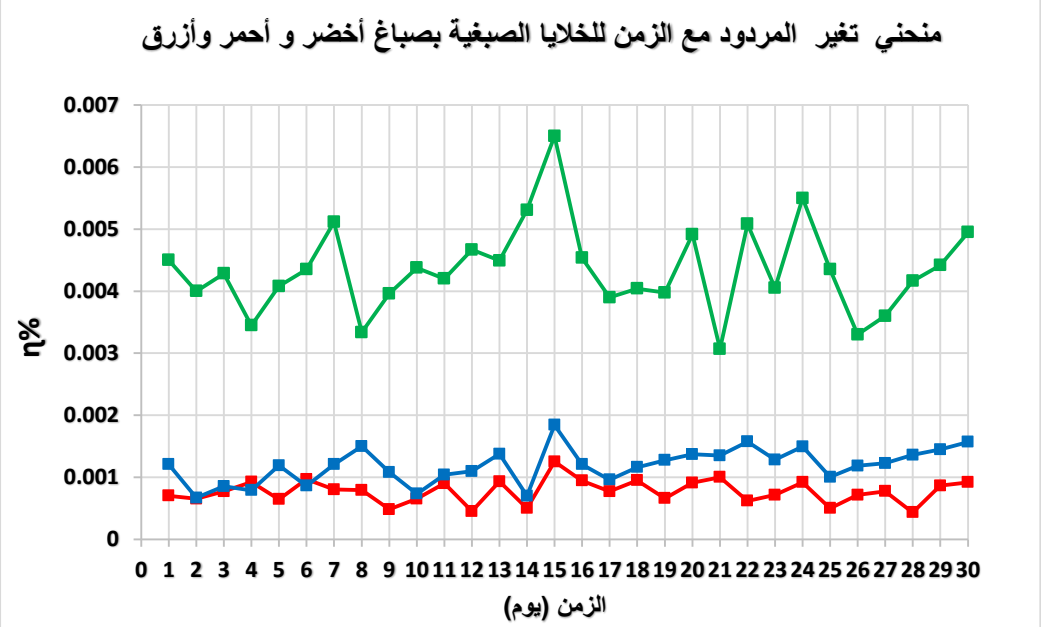
نلاحظ من المنحنيات الثلاثة أن الخلية الصبغية بصباغ أخضر أعطت أعلى تيار ومن ثم الخلية الصبغية بصباغ أزرق وبعدها الخلية الصبغية بصباغ أحمر ونلاحظ أن الخليتين الحمراء والزرقاء متقاربين من بعضهم وبفارق واضح عن الخلية الخضراء، والسبب في ذلك أن الأصباغ تحتاج إلى امتصاص الضوء بمعدلات مختلفة للتّخفيف من عدم الاستقرار الناتج عن التّقلبات في شدّته، وأفضل ضوء تمتصه الأصباغ هو الأجزاء الأكثر انحداراً من منحني شدّة الطّيف الشّمسي وهي الأجزاء الحمراء والزرقاء من الطيف، فلذلك كان لون الصباغ الأخضر هو اللون الأمثل لأنه يمتص هذه الأجزاء من الطيف لتحقيق الاستقرار، حيث أن اللون الأخضر يمتص اللونين الأحمر والأزرق من ألوان الطيف، ويعكس اللون الأخضر واللون الأحمر ذو طول موجة قصير وطاقة مرتفعة واللون الأزرق ذو طول موجة طويل وطاقة منخفضة، وذلك للحد من تدهور الخلية والحفاظ على استقرارها.



الشكل (١٩) الأطوال الموجية لألوان الطيف المرئي.

مردود الخلايا الشمسية الصبغية المحضرة:

يبين الشكل (٢٠) منحني تغيرات المردود مع الزمن للخلايا الصبغية الثلاث بصباغ أخضر وصباغ أحمر وصباغ أزرق.



الشكل (٢٠) منحني تغيرات المردود مع الزمن للخلايا الصبغية الثلاثة بصباغ أخضر وصباغ أحمر وصباغ أزرق.

نلاحظ من المنحنيات الثلاثة أن الخلية الصبغية بصباغ أخضر أعطت أعلى مردود ومن ثم الخلية الصبغية بصباغ أزرق وبعدها الخلية الصبغية بصباغ أحمر، حيث بلغ المردود الأعظمي للخلية الصبغية بصباغ أخضر (٠.٠٠٠٦٥%)، وبلغ مردود الخلية الصبغية بصباغ أزرق (٠.٠٠٠١٨%)، والخلية الصبغية بصباغ أحمر (٠.٠٠٠١٢%) وذلك في اليوم 15 من شهر كانون الثاني.

نجد من خلال هذه الدراسة أن استطاعة الخلايا المحضّرة صغيرة لكنها جيدة مقارنة مع الدراسات العالمية في مجال الخلايا الشمسية القائمة على أصبغة طبيعية نباتية مستخلصة بطرائق منخفضة التكلفة، ويتميز هذا النوع من الخلايا الشمسية عموماً بسهولة التصنيع وانخفاض التكلفة، ولكنه مازال يعاني من انخفاض المردود.ونظراً إلى الاستطاعة المنخفضة التي تنتجها الخلية الشمسية الصبغية فقد استخدمت في التطبيقات الصغيرة ، حيث تظهر أداءً ممتازاً في الأجهزة التي تحتاج طاقة في نطاق الميكروواط والموجودة في الداخل مع وجود ضوء اصطناعي لأنه يمكن للخلية الصبغية أن تنتج الطاقة من ضوء الغرفة، ومن ضوء الشمس، على حد سواء، فعلى سبيل المثال تطبيقات الاهتمام العلمي والتكنولوجي مثل انترنت الأشياء يمكن استخدام البطاريات ولكن عمرها الافتراضي مقيد في غضون أشهر إلى عدة سنوات، ويمكن للخلية الشمسية الصبغية أن تحل هذه المشكلة خاصة أنها تعمل في ظروف إضاءة الغرفة الداخلية ، وتُستخدم في تقنيات الحوسبة، وشحن الهواتف المحمولة، والكاميرات، وأنظمة الإضاءة المحمولة بتقنية LED .كما تُستخدم كنوافذ وواجهات في المباني والسيارات والقطارات، ولنتمكن من تحديد نسبة مساهمة المصدر الجديد في تلبية احتياجات المنزل نحتاج إلى تطوير هذه الخلايا المحضّرة واستخدام أصبغة طبيعية أو أصبغة صناعية جيدة تعتمد على معقدات الروثينيوم لنتوصل إلى ما توصل إليه العالم غراتزل في سبتمبر ٢٠١٧ حيث تم استخدام ١٠٠٠خلية شمسية صبغية على مبنى شركة science for life technologies في مدينة غراتس في النمسا يمكنها توليد ٢٥٠٠٠ كيلو واط/الساعة من الطاقة النظيفة ولا تزال بعض جوانب هذه التكنولوجيا قيد التطوير.

الشكل (٢١) مبنى شركة science for life technologies

الاستنتاجات والتوصيات:

١- نلاحظ بأن جهد الخلية الصبغية بصباغ أخضر يتراوح بين (٠.٧٨-٠.٥)، وأعطت تياراً يتراوح بين (٠.١٣-٠.٠٨)، وقد أدت هذه الخلية عملها بكفاءة كمنتج رخيص ونظيف للطاقة الكهربائية

٢- استخدام الصباغ الأخضر يعطي أعلى كفاءة للخلية الشمسية الصبغية عند مقارنته مع الصباغ الأحمر والصباغ الأزرق. حيث بلغت أعلى قيمة لتيار خليته **mA** (0.1) وجهدها وصل إلى V (٠.٧٨).

٣- يمكن استخدام هذه الخلايا كنوافذ وواجهات في المنازل والأبنية والمحلات وبالتالي توفير المساحة مقارنة مع الخلايا السيليكونية كذلك تعتبر صديقة للبيئة وتجري أبحاث لزيادة مردود هذه الخلايا.

٤- ازدادت قيمة المردود للخلية الشمسية المحضّرة عند استخدام الصباغ الأخضر بمقدار (0.18-0.47) % عما هو عليه في حال استخدام الصباغ الأحمر، وازدادت قيمته بمقدار (٠.٠٢-٠.٥٢)% عما هو عليه عند استخدام الصباغ الأزرق، حيث بلغ المردود الأعظمي للخلية الشمسية الصبغية الخضراء (η=0.0065%).

التوصيات:

١- دراسة إمكانية استخدام إلكتروليت صلب بدلا من السائل وبذلك نحصل على خلية أكثر استقراراً، وهو مزيج من السيزيوم والقصدير واليود يتم إضافته بشكل سائل ثم يتحول إلى كتلة صلبة.

٢- دراسة إمكانية استخدام أصبغة عضوية من النباتات (كالسبانخ والملفوف الأحمر والتوت وغيرها من النباتات التي يمكننا استخلاص الأصبغة منها) بدلاً من الأصبغة الكيميائية الصناعية المكلفة.

٣- دراسة وضع طبقة مدمجة من ثاني أكسيد التيتانيوم للحصول على كفاءة أعلى حيث أن الكفاءة تزداد بازدياد كمية الصباغ نظرا لازدياد كمية ثاني أكسيد التيتانيوم.

المراجع العلمية:

[1] Foster, Robert, Majid Ghassemi, and Alma Cota, **"Solar energy: renewable energy and the environment"**. CRC Press, 2009.

[2] Luque, Antonio, and Steven Hegedus, eds**," Handbook of photovoltaic science and engineering"** John Wiley & Sons, 2011.

[3] Robert P. H. Chang, "**All-solid-state dye-sensitized solar cells with high efficiency"** (2012)

[4] Zhang Lan, et al. **"Counter electrodes in dye-sensitized solar cells"** (2017)

[5] Nipun Sawhney, et al**. "Utilization of Naturally Occurring Dyes as Sensitizers in Dye Sensitized Solar Cells"** (2017)

[6] Edwin Cartlidge, **"Bright outlook for solar cells"**. Physics Word July 2007

[7] O'regan, Brian, and Michael Grätzel. "**A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO2 films."** nature 353.6346 (1991): 737.

[8] Potscavage Jr, William J. **" Physics and engineering of organic solar cells. Diss. Georgia Institute of Technology"**, 2010.

[9] Jager, Klaus, Olindo Isabella, and Arno HM Smets. "Rene'ACMM, Van Swaaij, Miro Zeman, "." **Solar Energy fundamentals, technology, and systems."** (2014).

[10] 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)

[11] Fonash, Stephen. "**Solar cell device physics"**. Elsevier, 2012.

[12] Srinivas, B., Balaji, S., Nagendra Babu, M. and Reddy, Y.S. (2015) "**Review on Present and Advance Materials for Solar Cells"**. International Journal of Engineering Research-Online, 3, 178-182. sensitized by PbS quantum dots. Appl. Phys. Lett. Vol. 66, Issue 3, pp. 349-351.

[13] Grätzel, Michael. "**Dye-sensitized solar cells."** Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 4.2 (2003)

[14] Wongcharee, Khwanchit, Vissanu Meeyoo, and Sumaeth Chavadej. **"Dye-sensitized solar cell using natural dyes extracted from rosella and blue pea flowers."** Solar Energy Materials and Solar Cells 91.7 (2007)

[15] Hagfeldt, Anders, et al. **"Dye-sensitized solar cells."** Chemical reviews 110.11 (2010).