

تصميم واختبار خلية شمسية كهروكيميائية رخيصة وعالية الكفاءة

الدكتور علي علي*
الدكتور موسى المحمد**
عادل عبد الرحمن***

(تاريخ الإيداع 22 / 4 / 2015. قُبِلَ للنشر في 1 / 7 / 2015)

□ ملخص □

تم في هذه الدراسة تصميمُ خليةٍ شمسيةٍ بسيطةٍ ورخيصةٍ نسبياً من موادّ متوفرة في السوق المحليّة، حيث تتكون هذه الخلية من الجسم الخارجي، وهو عبارة عن صندوق بلاستيكي على شكل متوازي مستطيلات مصنوع من مادة الأكريليك الشفاف يسمح بمرور الضوء، ويتمتع بالمرونة والمتانة العاليتين، ويحتوي على قطبين من النحاس الأحمر العالي النقاوة، حيث تم معالجة أحد هذين القطبين بالتسخين إلى درجات حرارة مُختلفة (200°C, 300, 400) باستخدام جهاز التسخين (Hot Plate) الأمر الذي أدى إلى تحول هذا القطب إلى نصف ناقل (أكسيد النحاسي، Cu₂O)، بينما تُرك القطب الآخر بلا معالجة.

كما تمّ تطوير الوسط الكهربائي الناقل ليصبح على هيئة بولي إلكتروليت (هيدروجّل)، وهكذا يتم تحرير الإلكترونات من القطب المُعالج أثناء سقوط الضوء إلى طبقة الهيدروجّل، ثم إلى القطب النظيف غير المُعالج. لقد أظهرت النتائج أن جهد الخلية يتناسب طردياً مع تركيز (البولي إلكتروليت) ومساحة سطح القطب المُعالج (أكسيد النحاسي) المُعرّض للضوء، كما تُبيّن التجارب أنّ لدرجة الحرارة دوراً مهماً في تحويل الناقل المعدني إلى نصف ناقل، وكلما كان هذا التحويل ممكناً كانت حساسية القطب للضوء أكثر فعالية وكفاءة.

الكلمات المفتاحية : خلية (جراتزل الشمسية)، الصباغ الحساسة للضوء، الخلايا البلاستيكية، البوليمرات الصلبة، الإشعاع الشمسي، التأثير الكهروضوئي، المعالجة الحرارية للنحاس.

* أستاذ - قسم تقانة الأغذية - كلية الهندسة التقنيّة - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** أستاذ - قسم هندسة المعدات والآليات بكلية الهندسة التقنيّة جامعة تشرين، اختصاص محطات القوى.
*** طالب ماجستير - قسم هندسة المعدات والآليات-هندسة الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة-كلية الهندسة التقنيّة- جامعة تشرين- طرطوس- سورية.

"Design and industrializing electrochemical solar cells with low cost and high efficiency"

Dr. Ali Ali*
Dr. Mosa Al Mohammad**
Adel Abd Alrahman***

(Received 22 / 4 / 2015. Accepted 1 / 7 / 2015)

□ ABSTRACT □

In this study, we have designed and manufactured a simple and relatively inexpensive solar cell, from the available materials in the local markets, where the cell is contained of the outer body (Case), which is a plastic box on a parallel form of rectangles of acrylic transparent allows the passage of light. It has resilient and high durability, and two poles of red copper higher purity, one of them has been thermally treatment to different temperatures (200, 300, 400°C), which turns the copper pole from carrier to semiconductor (cuprous oxide, Cu_2O), using heating device (Hot plate).

The other pole left without treatment and the electrolyte solution (Gel) has been developed on the (Hydrogel), thus freeing electrons from the treatment plate to the Hydrogel layer then to the clean plate (non-treatment), during shining light.

The results showed that the cell voltage proportional to the polyelectrolyte concentration and the area of copper pole (cuprous oxide). As the experiments showed that the temperature has an important role in transforming the metal carrier to the semiconductor, and whenever this conversion possible whenever the pole of the light sensitively more effective and efficient.

Key words: Gratzel solar cell, thermal treatment of copper, plastic cells, soled polymers, solar irradiation, photovoltaic effect, dye-sensitized solar cell.

*Professor, Department of Food Technical, Faculty of Technical Engineering, Tishreen University, Lattakia- Syria.

** Professor, Faculty of Technical Engineering-Tishreen University, Lattakia, Syria.

*** Master's Degree student, Department of equipments and machinery- Technical Engineering-Tartous-Tishreen University-Lattakia- Syria.

مقدمة:

تُعد الطاقة مشكلةً اقتصاديةً واستراتيجيةً لجميع دول العالم المستوردة للنفط، إلا أن هذه المشكلة أعمق في الدول النامية وذلك بسبب اعتمادها الكلي على الطاقة المستوردة، بالإضافة إلى معدل النمو السكاني الكبير في هذه الدول، وسعيها إلى رفع مستوى الحياة لشعبها وتطوير عملية التقدم والتصنيع. اتجهت العديد من دول العالم إلى استغلال مصادر الطاقة المتجددة (الطاقة الشمسية وطاقة الرياح...)، وأجريت العديد من البحوث والدراسات في هذا المجال، وانتقلت بعض هذه الدول من مرحلة البحث والدراسة إلى مرحلة تصنيع مكونات استغلال الطاقة المتجددة والأنظمة اللازمة لذلك، وبدأ استخدام أنظمة الطاقة الشمسية وطاقة الرياح في الانتشار تدريجياً حتى وصل إلى المرحلة التجارية، وأصبحت كثير من الدول تعتمد على هذه الأنظمة في توفير جزء لا يُستهان به من احتياجاتها للطاقة الكهربائية والحرارية والميكانيكية [1].

أهمية البحث وأهدافه:

نظراً لأن الطاقة المستمّدة من مصادر متنوعة، كالوقود الأحفوري والمفاعلات النووية، يصحبها تلوثٌ للبيئة، فإنّ الانعكاسات السلبية لذلك الوقود تعود على كافة الكائنات الحية، مما يتسبب في تدهور الظروف الصحية والبيئية، وانتشار الأمراض والأوبئة وزيادة الزحف الصحراوي الذي يهدد الغطاء النباتي والغابات، ويهدد الثروة الحيوانية ومصادر الغذاء في العالم، فكان لا بُدّ من البحث بشكلٍ جديٍّ ومسؤول عن مصادر نظيفةٍ أخرى لإنتاج الطاقة وتأمين حاجات الحياة اليومية ومتطلباتها من الوقود، ومن أهم هذه المصادر: الشمس، فقد تم تصنيع خلايا شمسية بلورية لتوليد الكهرباء ولكنها تحتاج إلى تكنولوجيا تصنيع معقدة، كما أن تأمين المواد الأولية يُعدُّ صعباً جداً ومُكلفاً، وهناك بعض الدراسات الأخرى التي تُركز على نوع جديد من الخلايا العضوية (السائلة والصلبة)، والتي تُعدُّ منافساً جيداً للخلايا البلورية من حيث الأداء والسعر [2-3-4].

يهدف هذا البحث إلى:

تصميم واختبار خلية شمسية كهروكيميائية رخيصة، باستخدام موادّ متوفرة في السوق السورية وذات كفاءة عالية، كما يهدف إلى دراسة البارامترات التصميمية مثل (نوع القطب المُستخدم ومساحته، والمسافة بين الأقطاب، ودرجة المعالجة الحرارية وتأثير نوع الوسط (البولي إلكتروليت) وتركيزه) على أداء عمل الخلية.

المواد والتقنيات المستخدمة في البحث:

الجدول (1) يبيّن المواد المستخدمة في البحث

التسلسل	نوع المادة	مواصفات المادة
1	البولي فينيل الكحولي (PVA)	درجة البلمرة: (1700-1800) الوزن الجزيئي (M.W): 1.15.000 اللزوجة: (Viscosity(cp)): 25-32 درجة الحموضة (mol%): 98-99 دليل شوارد الهيدروجين لمحلوله المائي (pH): 5-7
2	البولي إيثيلين غليكول: (PEG)	المحتوى من الرماد الكبريتي: NMT-0.1%

الوزن الجزيئي (M.W): 4000 نقطة التجمد (freezing Point): 53°-56° قيمة الهيدروكسيل (Hydroxyl Value): 30-36 دليل شوارد الهيدروجين لمحلوله المائي: 4.5-7.5		
درجة النقاء: 99% الكثافة: 1.051[g/cm ³] المحتوى من الماء: 0.1%	حامض الأكريليك (acrylic acid)	3
النسبة الوزنية الصافية: 85.6% المحتوى من (K ₂ CO ₃): 0.6% المحتوى من (Ag): 0.5%	هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH)	4
Minimum Assay 96.0% Carbonate (Na ₂ CO ₃) 2.0% Chloride (Cl) 0.01% Phosphate (PO ₄) 0.001% Silicate (SiO ₂) 0.02%	هيدروكسيد الصوديوم (NaOH)	5
نسبة النقاوة 99.8% السماكات (1, 0.5, 0.1mm)	صفائح نحاسية حمراء	6
المساحة (5×5Cm ²) السماكة 2mm	صفائح بلاستيكية عالية النقاوة	7

الجدول (2) الأملاح المستخدمة في تحضير المحاليل الناقلة في الخلايا الكهروضوئية:

مواصفات الملح	نوع الملح	التسلسل
الوزن المولي : 58.44% درجة النقاء : 99.5% المحتوى الأعظمي من الكبريتات: 0.02%	كلوريد الصوديوم (NaCl)	1
الكتلة المولية: M= 42.39 g/mol نسبة الليثيوم: Li= 6.49 المحتوى من الكلور: CL= 6.49	كلور الليثيوم (Li Cl)	2
النسبة الوزنية لكلور الصوديوم: 99 % يودات البوتاسيوم: 180-200 ملغ/ كغ	ملح صخري مع اليود (NaCl-Rock)	3
درجة النقاء : 99.9% نسبة اليود مطابقة للمواصفات القياسية السورية: 92 / 74	ملح بحري مع اليود	4

3 - الأجهزة والطرائق المستخدمة:

3-1- جهاز التحليل الطيفي:

لقد تم إجراء عملية تحليل طيفي لصفائح النحاس بهدف التعرف على التركيب الكيميائي لها، وعلى نسب الشوائب والمواد التي يمكن أن تؤثر على أدائها، و تم استخدام جهاز التحليل الطيفي بالموصفات الآتية:
الجهاز صناعة ألمانية ، طراز: **Foundry- Master**، طريقة عمل الجهاز: **Optical Emission Spectrometer (OES)** يمكن للجهاز أن يقيس أطيفاً من المعادن ضمن مجالات مختلفة وباستخدام غاز الأرجون.

3-2- جهاز تسخين صفائح النحاس:

بعد تحضير الأقطاب وتنظيفها قمنا بمعالجتها حرارياً باستخدام جهاز التسخين (Hot Plate)، حيث تم تسخين الصفيحة على وجه واحد ولمدة محددة عند مستويات مختلفة من درجات الحرارة (200°C, 300, 400) حتى نحصل على أكسيد النحاسي (تحويل النحاس الناقل إلى نصف ناقل) كما في الشكل (1).



الشكل (1) عملية تسخين الصفائح النحاسية وتشكل أكسيد النحاسي

حيث يتشكل طبقة رقيقة من الأوكسيد الأسود على وجه الصفيحة، ثم نقوم بإزالة هذه الطبقة باليد مع الغسل بالماء المقطر ويلطف شديد، ثم توضع هذه الصفائح على قطعة قماش لحمايتها من الخدوش.

3-3- جهاز التشعيع:

الجهاز عبارة عن حجرة من الخشب مغلقة من الداخل برفائق الألمنيوم، وتحتوي على ستة مصابيح زئبقية من النوع (Philips TUV 15W/G15)، يعطي الجهاز قيمة الجرعة الإشعاعية بالوحدة ($\mu\text{Joul}/\text{cm}^2$) كما في الشكل (2).



الشكل (2) يبين الجهاز المصدر للأشعة فوق البنفسجية (UV)

3-4- جهاز قياس شدة الإشعاع الشمسي photo-Radiometer HD 2102.2:

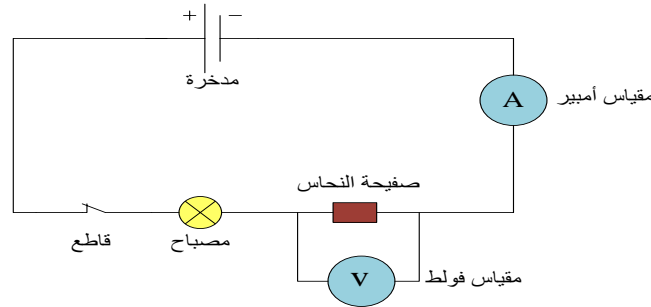
طراز الجهاز HD 2102.2 من شركة Delta Ohm الإيطالية.

4- قياس جهد الخلية الكهروضوئية:

بعد عملية الربط الفيزيائي بين الهيدروجين والصفحة النصف ناقلة بحيث يكون الوجه المعدني المُعالج باتجاه الضوء، يتم أخذ القياسات مباشرةً، باستخدام جهاز الآفومتر.

5- قياس المقاومة الكهربائية للصفائح النحاسية:

لقد تمَّ قياس المقاومة الكهربائية للصفائح النحاسية المستخدمة في التجارب وذلك عند سماكات مختلفة لانتقاء الصفائح ذات المقاومة الكهربائية الأقل بهدف استخدامها في الخلايا الكهروضوئية المعتمدة في هذا البحث كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) الدارة المستخدمة في قياس المقاومة الكهربائية لصفائح النحاس قبل المُعالجة وبعدها.

6 - الطرائق والتقنيات المستخدمة في تصميم الخلية الكهروضوئية:

6-1- تصنيع أقطاب الخلية الكهروضوئية:

استُخدمت صفائح من النحاس الأحمر العالي النقاوة بسماكات مختلفة، حيث تمت المعالجة الحرارية بتسخين هذه الصفائح إلى درجات حرارة مختلفة (200°C , 300°C , 400°C) بهدف تحويل النحاس الناقل إلى نصف ناقل (أوكسيد النحاسي، Cu_2O)، وسوف تُستخدم هذه الصفائح كأقطاب حساسة للضوء في خليتنا، ويُترك القطب الآخر بلا مُعالجة.

6-2- غلاف الخلية:

تمَّ استخدام صفائح بلاستيكية من الأكريليك الشفاف ذات سماكة $2[\text{mm}]$ ، تتمتع بالمتانة والمرونة والنقاوة العالية، كما تسمح بمرور الضوء من خلالها، وهي تُشكّل الهيكل الخارجي للخلية الكهروضوئية.

6-3- تصنيع البولي إلكتروليت:

تم إنتاج بولي إلكتروليت على شكل (جلّ) رقيق من البولي أكريلات، وحُصلَ عليه بالمُعالجة الإشعاعية الضوئية للمزيج من البولي فينيل الكحولي مع حامض الأكريليك والبولي إيثيلين غليكول والماء بالنسب الوزنية التالية: (PVA/AAC/PEG/H₂O: 1/2/1/1) ثم بالمُعالجة القلوية باستخدام محاليل الأملاح (KOH, NaOH).

6-4- تحضير الجلّ المائي (الهيدروجلّ):

بعد وزن المقادير المطلوبة من (PVA, AAC, PEG) باستخدام ميزان دقيق، نضع الكمية في وعاء مناسب يحتوي على الماء المقطر بنسبة مدروسة، ثم يُحرك المزيج باستخدام جهاز المزج مع التسخين المستمر وبدرجة حرارة مناسبة حتى الذوبان والاندماج الكامل للمزيج. وبعد ذلك يتم بلمره الهيدروجلّ الناقل للشوارد المصنَّع من البولي أكريلات المضاف إلى الماء المقطر بنسب مختلفة (5%)، (10%)، (15%)، (20%)، وذلك باستخدام الأشعة فوق البنفسجية (UV-rays)، ثم المعالجة القلوية لتحويل الهيدروجلّ إلى بولي أكريلات الصوديوم.

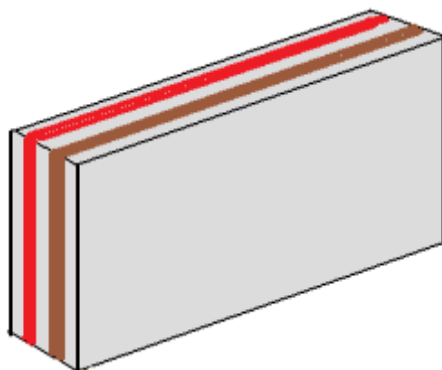
7- تحضير المحاليل الناقلة للشوارد في الخلايا الكهروضوئية:

تم تحضير عدة محاليل كهروضوئية ناقلة للتيار الكهربائي تحتوي على أحد الأملاح الآتية: الملح الصخري (NaCl-Rock)، أو ملح كلور الليثيوم (LiCl)، أو ملح كلور الصوديوم النقي (NaCl-clear)، أو ملح كلور البوتاسيوم (KCl)، أو ملح بحري ميودن (NaCl-Iodin)، حيث تم إذابة كل نوع من الأملاح المدروسة في الماء المقطر بتركيز 1 [g/L] ، واستُخدمت أقطاب نحاسية للخلايا (صفائح) مُعالجة حراريًا حتى الدرجة (400C°) ، وذات سماكة 1 [mm] ، كما تم اختيار المسافة بين الصفائح 10 [mm] ، وزاوية ميل الخلية 45° . ثم قمنا بصب المحلول الملحي داخل صندوق الخلية، وعرضناها للضوء بشكل مباشر بعد إمالة الخلية بالدرجة التي تسمح بتعامد الضوء مع سطحها، وذلك من خلال وضعها على قاعدة خاصة مجهزة بزاوية متحركة تسمح بتحريك القاعدة وفق الدرجة التي نريدها، ثم قمنا بأخذ القياسات باستخدام جهاز الأفومتر لقياس الجهد الناتج من الخلية. واستخدام جهاز الراديوفوتومتر (Radiophotometer) لقياس شدة الإشعاع الشمسي، وتثبيت مصدر الضوء عند شدة إشعاع $1000\text{ [W/m}^2]$ ، باعتبار هذه القيمة مُستخدمة في العديد من المخابرات العالمية (standard).

8- تصميم الخلية الكهروضوئية:

8-1- الجسم الخارجي (Case):

تم استخدام ألواح من البلاستيك الشفاف (Acrylic) محلية الصنع على شكل ألواح مستوية ثم قُصت الألواح إلى شرائح صغيرة، ثم تُنبتت الألواح البلاستيكية على شكل متوازي مستطيلات، من خلال لصق الجوانب بمادة السيلكون الشفاف للحصول على الشكل المطلوب، كما في الشكل (4).



الشكل (4) يبيّن توضع الأقطاب النحاسية داخل الصندوق البلاستيكي

8-2- عملية اختبار التسرب في الخلية:

قمنا بإجراء عملية اختبار لهذه الصناديق للتأكد من عدم وجود أي تسرب للمحلول، أو أي سائل نضعه فيها.

النتائج والمناقشة:

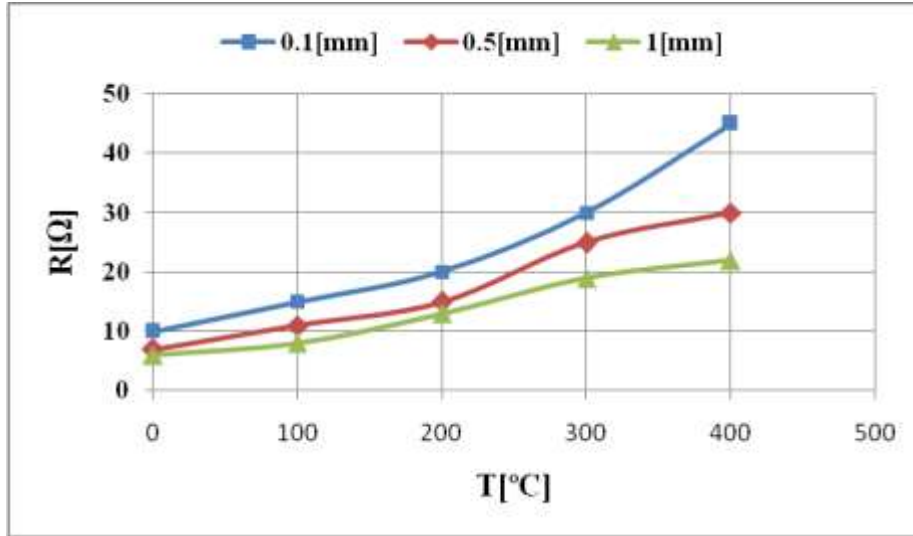
1- نتائج التحليل الطيفي للصفائح النحاسية المدروسة:

تم تحديد نسب العناصر الشائبة الداخلة في تركيب صفائح النحاس، وتشير نتائج التحليل الطيفي إلى احتواء الصفائح النحاسية المستخدمة كأقطاب للخلايا الكهروضوئية المصنعة على نسب ضئيلة جداً من العناصر المعدنية، حيث كانت نسبة النحاس النقي 99.8% .

2- تأثير المعالجة الحرارية للأقطاب النحاسية على مقاومتها الكهربائية:

تمت دراسة المقاومة الكهربائية للصفائح النحاسية عند سماكات مختلفة (0.1, 0.5, 1 [mm]) قبل

المعالجة الحرارية وبعدها بهدف الحصول على أفضل شبه ناقل عند السماكة المناسبة لاعتمادها في تصنيع الخلية الكهروضوئية، حيث يوضح الشكل (5) أنّ المقاومة الكهربائية تزداد مع زيادة درجة الحرارة عندما تكون سماكة صفيحة النحاس 0.1[mm]، ويتم الحصول على أعلى قيمة للمقاومة الكهربائية وهي 45[Ω] عند درجة الحرارة 400°C، وتتنخفض المقاومة إلى 25[Ω] عند السماكة 1[mm] عند درجة المعالجة الحرارية نفسها.



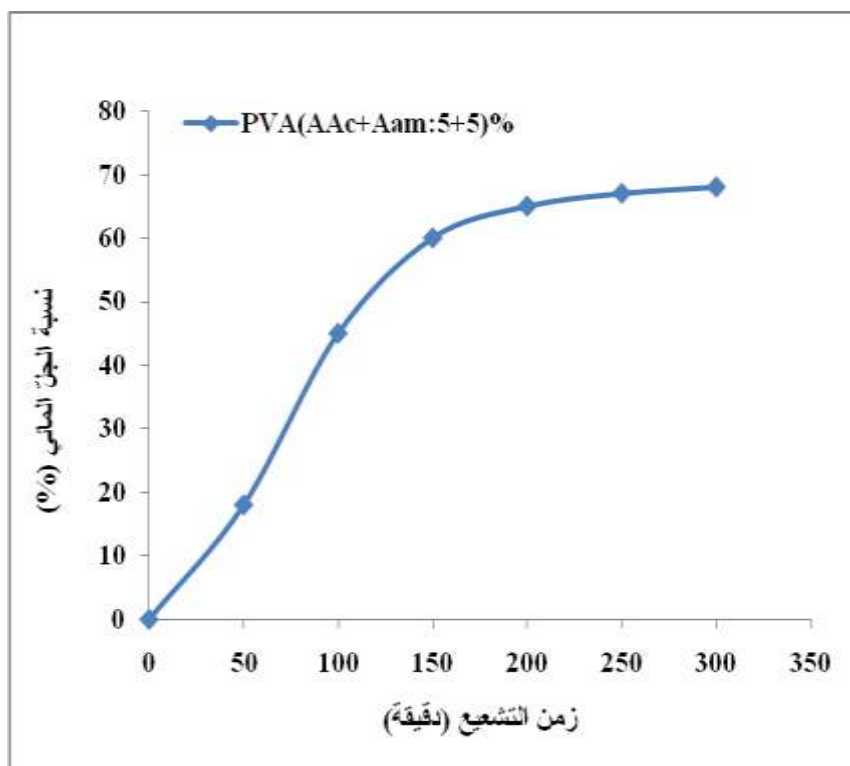
الشكل (5) تأثير المعالجة الحرارية للأقطاب النحاسية على مقاومتها الكهربائية

وبالتالي يتبين من الشكل أنّ صفيحة النحاس ذات السماكة 1[mm] هي الصفيحة ذات المقاومة الأقل والتي

سنستخدمها في تصنيع الخلايا الكهروضوئية خلال الدراسة.

3- تأثير زمن التشعيع على عملية تشكل الجلّ المائي:

يُعدُّ (البولي فنيل) الكحولي مادةً هيدروفيلية ذوابة في الماء، ويتم عادة تخفيض ذوبانيتها بتحقيق تشابك بنيتها الجزيئية، ويُعدُّ التشعيع الضوئي أحد الطرائق المستخدمة لتحقيق هذه الغاية، إذ يؤدي تعريض هذا البوليمير للأشعة الضوئية إلى انتزاع ذرات الهيدروجين من سلسله الجانبية، كما يؤدي إلى تشكيل عدد كبير من الجذور الحرة (free radicals) التي ما إن تجد شريكاً لها حتى ترتبط معه برابطة هيدروجينية قوية، وتتشكل شبكة بوليميرية ثلاثية الأبعاد (هيدروجل) غير ذوابة في الماء، ويبين الشكل (6) نسبة (الجلّ) المتكوّن كتابع لزمن التعرض للأشعة الضوئية:



الشكل (6) تأثير زمن التشعيع على عملية تشكل هيدروجل البولي اكريلات على هيئة بولي الكتروليت المكون من (PVA/ AAC/ PEG)

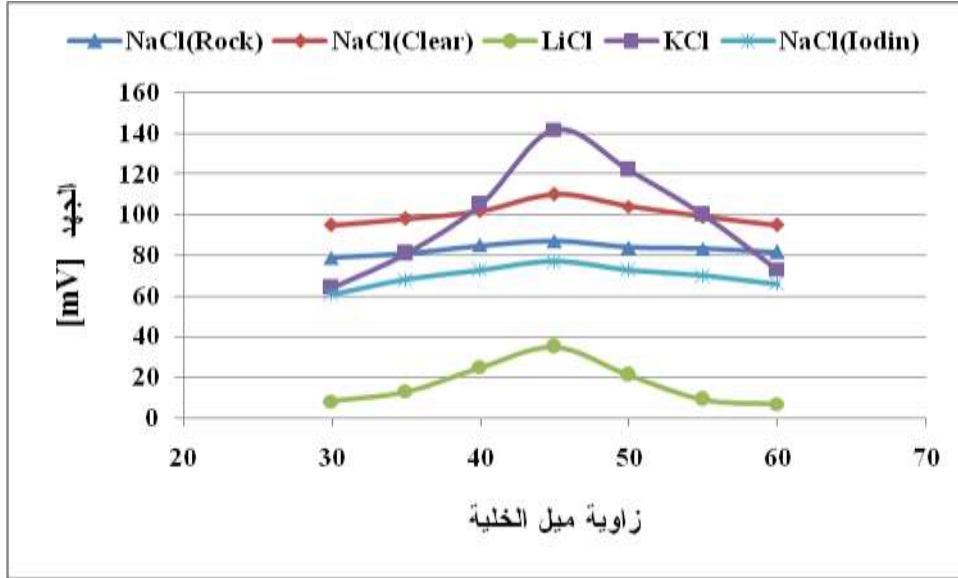
يتضح من المخطط أن لزيادة مدة التشعيع تأثيراً كبيراً على تشكل الهيدروجلّ المائي، أي تعزيز البنية الشبكية للجلّ مما يؤدي إلى زيادة الناقلية الأيونية، أي زيادة عدد الممرات والجسور التي تسمح بمرور قدر أكبر من الإلكترونات، وبالتالي ارتفاع قيمة الجهد الناتج للخلية.

4- تأثير درجة تركيز الملح وزاوية الميلان على جهد الخلية الكهروضوئية:

وقمنا بدراسة الجهد الكهربائي للخلايا الكهروضوئية عند تراكيز وأنواع مختلفة من الأملاح، وعند درجات ميل مختلفة للخلية الكهروضوئية، حيث سماكات صفائح النحاس المستخدمة 1[mm].

ويلاحظ من خلال الشكل (7) ارتفاع قيمة الجهد الكهربائي للخلية الكهروضوئية بشكل بسيط من 84.2[mV] عند درجة ميل للخلية الكهروضوئية 35° وذلك بالنسبة إلى الأشعاع الشمسي إلى 85.5[mV] عند زاوية ميل للخلية 45° ، ومن ثم يُلاحظ انخفاض جهد الخلية الكهروضوئية مع الزيادة اللاحقة في درجة ميلان الخلية.

ويمكن إرجاع سبب ذلك إلى زيادة شدة الإشعاع الشمسي بين زاويتي الميل ($35^\circ-45^\circ$) والذي يؤدي إلى تحريض عدد أكبر من الإلكترونات الناقلة ضمن الوسط الناقل للخلية (المحلول الملحي)، ومع زيادة درجة ميل الخلية تنخفض شدة الإشعاع الشمسي لعدم تعامد الأشعة الشمسية مع سطح الخلية وبالتالي تنخفض الطاقة المحرصة للإلكترونات ضمن هذا المحلول، وهذا ما يؤدي إلى انخفاض جهد الخلية الكهروضوئية.



الشكل (7) تأثير درجة تركيز الملح وزاوية الميلان على جهد الخلية الكهروضوئية

وعند دراسة الجهد الكهربائي للخلية الكهروضوئية المحتوية على محلول ناقل من ملح كلوريد الصوديوم النقي، يُلاحظ سلوك مشابه لمُحلول كلوريد الصوديوم الصخري فيما يخص الجهد الكهربائي ودرجة ميلان الخلية، إلا أنّ جهد هذه الخلية أعلى من جهد الخلية السابق عند جميع درجات الميل، ويعود ذلك إلى أنّ عدد حوامل الشحنات الكهربيّة (الإلكترونات) المُتحرّضة بفعل طاقة الإشعاع الشمسي الساقط على الخلية هي أعلى مُقارنةً بمثلتها من الخلايا المحتوية على محلول الملح الصخري، حيث إنّ وجود الشوائب يخفّض انتقال الإلكترونات ضمن المحلول، ويتم الحصول على أعلى قيمة للجهد الكهربائي $100.7[mV]$ عند درجة ميل للخلية 45° .

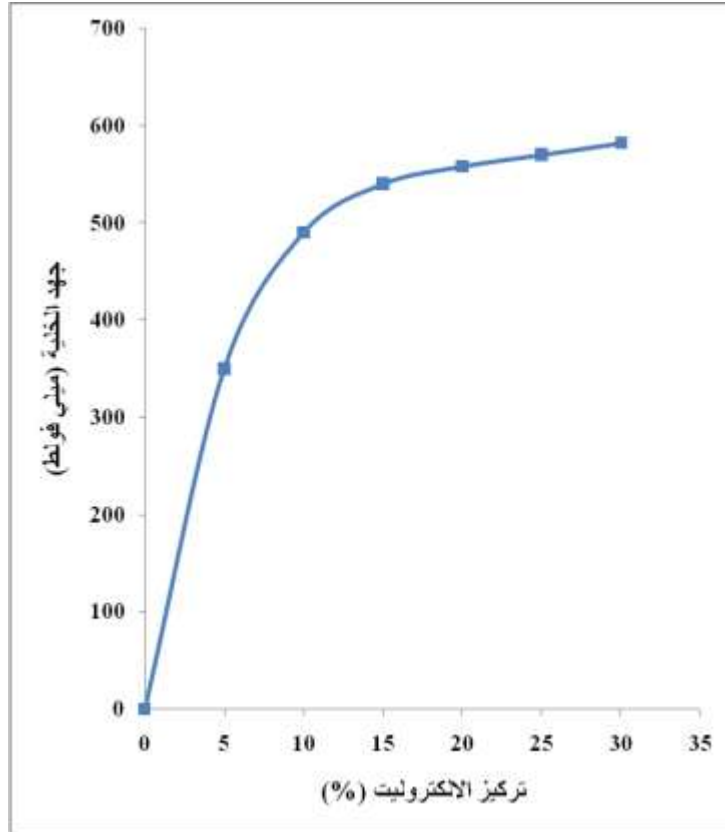
ونلاحظ عند دراسة الخلية المحتوية على ملح كلوريد الليثيوم انخفاضاً في الجهد الكهربائي للخلية وذلك بسبب قابلية هذا الملح المنخفضة للانحلال في الماء وبالتالي حركة شوارده المنخفضة نسبياً وناقليته الضعيفة. وناقلية الأملاح المحتوية على الشوارد تأخذ الترتيب الآتي: $(Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Na^+ > Li^+)$.

أما عند دراسة جهد الخلية الكهروضوئية المحتوية على وسيط ناقل للتيار الكهربائي من محلول ملح كلوريد البوتاسيوم المُستخدم بتركيز $1[g/l]$ يتبيّن ازدياد جهد الخلية الكهروضوئية مع زيادة درجة ميل الخلية حتى الدرجة 45° ثمّ الانخفاض مع زيادة درجة الميل، كما يلاحظ أنّ جهد الخلية أعلى من قيمة مثيلاتها المحتوية على محلول كلوريد الصوديوم، ويعود سبب ذلك إلى أنّ محلول كلوريد الصوديوم أكثر تأثيراً بالأشعة الضوئية، وأكثر قابلية للانحلال في الماء المقطّر، وذلك لأن سرعة حركة الشوارد (K^+) في المحاليل المائية هي الأعلى، كما أنّ تميّنها (هيدرتها) أعلى.

ويتبيّن من خلال الدراسة ازدياد جهد الخلية الكهروضوئية بزيادة درجة ميل الخلية مع الإشعاع الشمسي الساقط بالزاوية 45° ومن ثمّ انخفاض قيمة الجهد مع الزيادة اللاحقة في درجة ميل الخلية الكهروضوئية، ويتم الحصول على أعلى قيمة للجهد الكهربائي $77[mV]$.

5- دراسة تأثير تركيز الجلّ البوليميري على جهد الخلية:

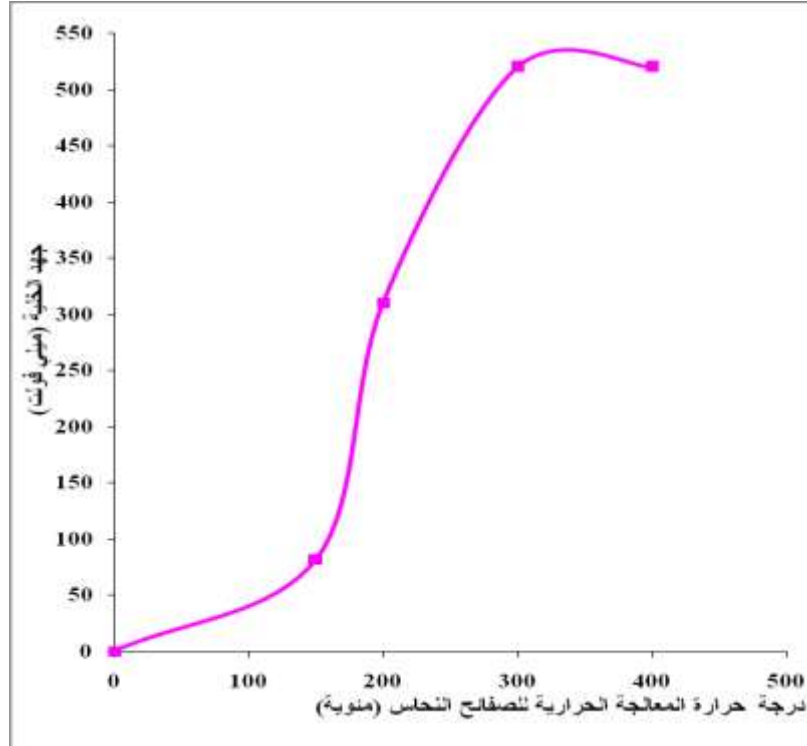
تمّ تطبيق رقائق الجلّ بين الصفيحتين النحاسيتين المُعالَجة وغير المُعالَجة بسماكة 2[mm] وبتراكيز مختلفة من (PVA/ AAC/ PEG) عند النسب التالية (5%, 10%, 15%, 20%)، حيث تبين من نتائج الدراسة ازدياد الجهد الكهربائي للخلية الكهروضوئية مع زيادة تركيز البولي إلكتروليت، ويتم الحصول على أعلى قيمة جهد للخلية الكهروضوئية 520[mv] عند التركيز 20% وعند هذه القيمة يصل الجهد مرحلة الإشباع، حيث يصل عدد الإلكترونات المتحررة حده الأعظمي كما يتضح من الشكل (8).



الشكل (8) العلاقة بين جهد الخلية الكهروضوئية وتركيز الجلّ (البولي إلكتروليت) وذلك عند شدة إشعاع ثابتة (980W/m²)

6- تأثير زمن المعالجة الحرارية لصفائح النحاس سماكة 1[mm] على جهد الخلية الكهروضوئية:

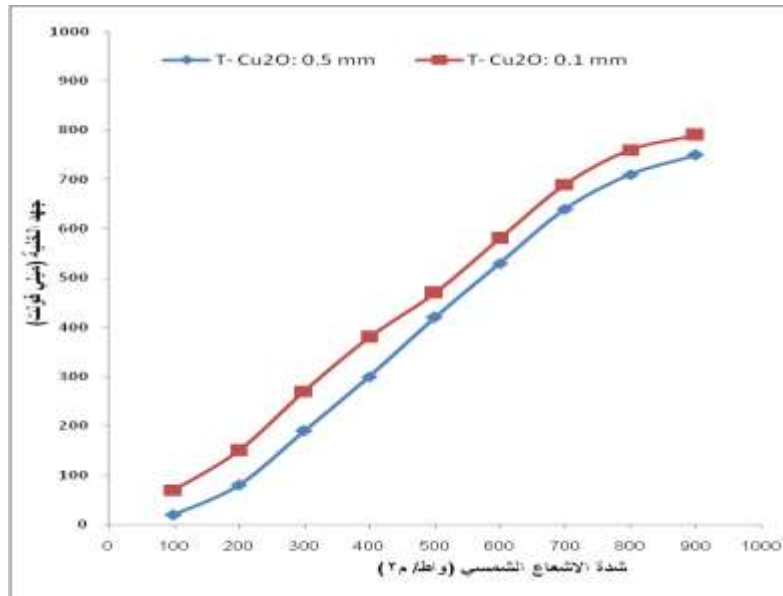
يتضح من خلال الشكل (9) ارتفاع جهد الخلية مع زيادة زمن المعالجة الحرارية للأقطاب النحاسية، إذ تؤدي المعالجة إلى تكون بنية ناعمة ودقيقة (تنعيم حبيبات المادة)، وبالتالي انخفاض الحجم الحر بين الذرات، وهو ما يسمح بانتقال الإلكترونات بسهولة بين ذرات المادة.



الشكل (9) بين جهد الخلية ودرجة حرارة المعالجة الحرارية لصفائح النحاس عند استخدام بولي إلكتروليت (الجل) بتركيز (20%) و شدة الإشعاع الشمسي ($980 [W/m^2]$)

7- تأثير شدة الإشعاع الشمسي على الجهد الكهربائي للخلية الكهروضوئية:

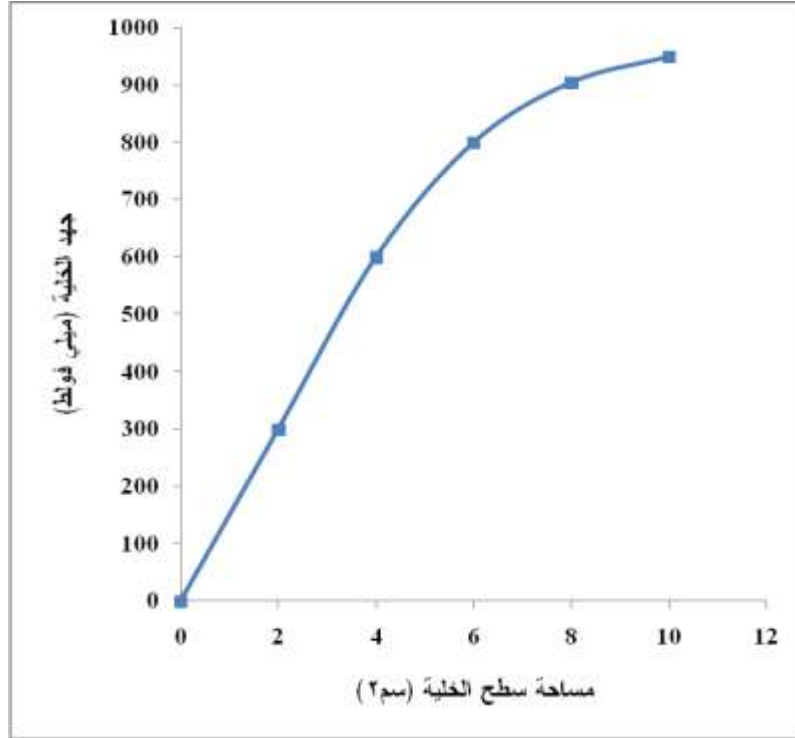
تؤدي زيادة شدة الإشعاع الشمسي إلى تحريض عدد أكبر من الإلكترونات الحرة السطحية في صفيحة النحاس، وإلى زيادة سرعة حركتها، مما يساعد في ارتفاع جهد الخلية، كما يتضح ذلك من خلال الشكل (10):



الشكل (10) العلاقة بين جهد الخلية الكهروضوئية كتابع لشدة الإشعاع الشمسي عند سماكات مختلفة لصفائح النحاس المعالجة حرارياً عند درجة الحرارة ($300^{\circ}C$) وتركيز البولي إلكتروليت (الجل) بنسبة (20%).

8- تأثير مساحة سطح الخلية على جهد الخلية الكهروضوئية:

تبيّن من خلال الدراسة ازدياد جهد الخلية الكهروضوئية بشكلٍ خطي وبمعدّل منخفض مع زيادة مساحة سطح الخلية، حيث إنّ زيادة سطح الخلية يتيح إمكانية أكبر لتحرير عدد أكبر من الإلكترونات الحرّة السطحية بفعل سقوط الأشعة الشمسية وانتقالها عبر سطح الخلية، وهو ما يرفع قيمة الجهد الكهربائي للخلية، كما يتضح ذلك من خلال الشكل(11):



الشكل (11) العلاقة بين جهد الخلية الكهروضوئية كتابع لمساحة سطح الخلية لصفائح النحاس المُعالجة حراريّاً عند درجة الحرارة (300°C) ونسبة تركيز البولي إلكتروليت (الجلّ) (20%)، وشدة الإشعاع الشمسي الساقط (980[W/m²]).

الاستنتاجات والتوصيات:

الاستنتاجات:

1- أعطت الخلية الكهروضوئية المحتوية على محلول ملح كلور البوتاسيوم ذي التركيز [1g/L]، والتي عُولجت فيها صفائح النحاس حرارياً حتى درجة الحرارة 300°C حيث كان الجهد الكهربائي الأعلى [150mV]، بينما أعطت الخلية الكهروضوئية المحتوية على محلول كلور ال ليثيوم أخفض جهد كهربائي [34mV] والذي عُولجت فيه صفائح النحاس حرارياً حتى الدرجة 300°C .

2- تمّ الحصول على قيمة مرتفعة للجهد الكهربائي وهي [520mV] في الخلية التي تحوي الجل المائي وبتراكيز مختلفة من (PVA/ AAC/ PEG) وذلك عند التركيز 20%، وسماكة الصفائح النحاسية [1mm]، والمعالجة حتى درجة الحرارة 300°C .

3- تزداد المقاومة الكهربائية مع زيادة كلّ من درجة حرارة المعالجة الحرارية لصفائح النحاس وكذلك مع تناقص سماكة صفائح النحاس بحيث يتم الحصول على أعلى مقاومة كهربائية [45Ω] عند الدرجة 400°C وسماكة الصفيحة [0.1mm].

4- يزداد جهد الخلية الكهروضوئية مع زيادة شدة الإشعاع الشمسي وكذلك مع زيادة مساحة سطح الخلية، حيث يصل الجهد إلى حوالي [950mV] وذلك عند مساحة سطح الخلية [8cm²]، وشدة الإشعاع الشمسي [980W/m²] ويكون الجهد أعلى عند السماكات الأعلى لصفائح النحاس.

التوصيات:

1- يوصى باستخدام الخلية الكهروضوئية التي تحوي على الجل المائي من (PVA/ AAC/ PEG) وذلك عند التركيز 20%، إذ تُعطي هذه الخلية الجهد الكهربائي الأعلى، بحيث تكون سماكة الصفائح النحاسية [1mm] والمعالجة عند درجة الحرارة 300°C .

2- يجب أن لا تتجاوز درجة المعالجة الحرارية لصفائح النحاس الدرجة 350°C وذلك بسبب زيادة المقاومة الكهربائية في الصفائح النحاسية حيث تتعرض الصفائح إلى تشوه في بنيتها وزيادة نسبة الكربون (الشوائب) مما يؤدي إلى انخفاض الناقلية الأيونية وبالتالي إلى انخفاض جهد الخلية.

المراجع:

- [1] مبادئ الطاقة الشمسية، د. نوفل الأحمد، د. طلال خلاص، د. رضوان المصري مركز التأهيل والتدريب لاستخدامات الطاقة الشمسية (2007-2008).
- [2] مقدمة في خواص المحاليل، د. عمر بن عبد الله الهزاري (2010-2011).

<http://www.pdfactory.com>

[3] O'Regan B., Grätzel M., "A low cost high-efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, 353, 24 October, 737-740 (2008).

[4] Petritsch, K., "Organic Solar Cell Architectures", PhD Thesis, Technisch-sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, 353, 24 October, 737-740 (2007).

[5] European Photovoltaic Industry Association and Greenpeace, Solar Generation, [http://www.epia.org/documents/Solar Generation](http://www.epia.org/documents/Solar%20Generation), (2009).

[6] Dong-Won Kim, Yeon-Bok Jeong, Sang-Hern Kim, Dong-Yoon Lee, Jae-Sung Song "*Photovoltaic performance of dye-sensitized solar cell assembled with gel polymer electrolyte*" Journal of Power Sources 149 (2010) 112–116.

[7] Junichi Inoue, Kumiko Yamagishi, Masafumi Yamashita "*Photovoltaic properties of multilayer organic thin films*" Journal of Crystal Growth 298 (2007) 782–786.

[8] Chih-Ming Chen, Han-Sheng Shiu, Sheng-Jye Cherng, Tzu-Chien Wei "*Preparation of polymer film of micro-porous or island-like structure and its application in dye-sensitized solar cell*" Journal of Power Sources 188 (2010) 319–322.

[9] Chien-Hsin Yang, Han-Lung Chen, Chiao-Pei Chen, Shao-Hong Liao, Hung-An Hsiao, "*Electrochemical polymerization effects of triphenylamine-based dye on TiO₂ photoelectrodes in dye-sensitized solar cells*" Journal of Electroanalytical Chemistry 631 (2009) 43–51.

[10] Coralie Houarner-Rassin, Errol Blart, Pierrick Buvat, Fabrice Odobel, "*Improved efficiency of a thiophene linked ruthenium polypyridine complex for dry dye-sensitized solar cells*" Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 186 (2010) 135–142.