Effect of Impurity Particles on the Spectral Properties of Hibiscus sabdariffa Organic Dye used in Solar Cells Industry

Noor I. Naji
Applied Science Department, University Technology/Baghdad
Email: Noonrawi80@ yahoo.com

Received on: 9/1/2014 & Accepted on: 5/6/2014

ABSTRACT

In this work, the spectral properties of the Hibiscus sabdariffa organic dye solved in different solvents were studied by introducing the effect of dye concentration on its absorbance and transmission spectra within the range 400-800nm. As well, the effect of adding impurity particles of a semiconductor to the dye solution on these properties was introduced. Results showed that the spectral properties of the dye depend substantially on the type of the solvent, which has to be chosen carefully to achieve the optimum properties of this dye to be used as a sunlight sensing organic medium in dye-sensitized solar cells. Also, the results showed that the spectral properties of this dye are noticeably affected by the presence of impurity particles of a semiconductor when the suitable solvent is used. These particles act as scattering centers through the solution to the electromagnetic radiation in the visible region and of the radiation are hence the intensities of the absorbed and transmitted components decreased.

Keywords: Organic dye, DSSC, Spectral properties, Hibiscus sabdariffa

أثر وجود الجسيمات الشائبة في محلول صبغة Hibiscus sabdariffa العضوية على الخصائص الطيفية للصبغة المستخدمة في صناعة الخلايا الشمسية

الخلاصة

في هذا البحث، أجريت دراسة للخصائص الطيفية لصبغة Hibiscus sabdariffa العضوية في مذيبات مختلفة من خلال دراسة تأثير تركيز الصبغة في المحلول على أطياف الامتصاص والنفاذية في مدى الأطوال الموجية 400-800nmعلاوة على دراسة تأثير إضافة جسيمات من مادة شبه موصلة على مثل هذه الخصائص الطيفية. وقد أظهرت الدراسة اعتماد الخصائص الطيفية لهذه الصبغة على نوع المذيب بشكل ملحوظ وأن اختيار المذيب المناسب لها يجب أن يراعي بلوغ أفضل الخصائص الطيفية التي تحقق الهدف من استخدامها كوسط عضوي متحسس لضوء الشمس. إن الخصائص الطيفية للصبغة المذابة في المذيب المناسب تتأثر بوجود جسيمات من مادة شبه موصلة في المحلول الذي يحتويها إذ تعمل هذه الجسيمات على استطارة الإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على الصبغة في منطقة الأطوال الموجية المرئية فيسبب نقصان شدة الجزئين الممتص والنافذ من الإشعاع.

https://doi.org/10.30684/etj.32.6B.19
2412-0758/University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

المقدمة :

تحتوي نبتة الروزيل (Roselle)التي تعرف محلياً بالكوجارات على صبغة الأنثوسيانين (Anthocynin) ذات الاسم العلمي*Hibiscus sabdariffa*وتنتمي هذه النبتة إلى عائلة النباتات الاستوائية نوع Malvaceae وتتواجد هذه النبتة (Roselle)بكثرة في أنحاء العالم،وقد حظيت هذه النبتة باهتمام متميز كمادة لإنتاج خيوط النسيج الملون، كما أن محاولات زراعتها في المناطق غير المفضلة لزراعة مثل هذه النباتات مستمرة ومضطردة [4-1].ويمتاز المستخلص المائي المحضر من أزهار نبتة الروزيل بلون أحمر براق ومذاق حامضي لذيذ. وتعد نبتة الروزيل غنية بصبغة الأنثوسيانين (Anthocyanin) وتستخدم كمصدر جيد للحصول على الصبغة الحمراء البراقة في الصناعات الغذائية. وتتصف مادة الأنثوسيانين شأنها شأن معظم الملونات الغذائية الطبيعية بصفة عدم الاستقرار اللوني (color instability)، وهذا الاستقرار اللوني بدوره يعتمد على مجموعة من العوامل المختلفة منها التركيب الجزيئي والبيئة الحامضية (الرقم الهيدروجيني) ودرجة الحرارة والأوكسجين والضوء والفاعلية المائية. كما أن الانحلال الأنزيمي (enzymatic degradation) والتفاعلات مع مكونات الغذاء كالحامض الأسكوربي والسكريات والأيونات المعدنية وثنائي أوكسيد الكبريت لا تقل أهمية في الاستقرار اللوني لهذه الصبغة [2].

تستخدم أزهار نبتة الروزيل (Roselle) لإنتاج صبغة حمراء ذات مذاق مميز لاستخدامها في الطعام والشراب في عدد من بلدان المناطق الاستوائية، إذ تمتاز أزهار نبتة الروزيل بمحتوى عالٍ من مادة الأنثوسيانين التي يبين الشكل (1) تركيبها الجزيئي عند قيم مختلفة من الرقم الهيدروجيني (pH) حيث يتغير لون الصبغة تبعاً لقيمة الرقم الهيدروجيني [3].

وتظهر هذه الصبغة خواص ميكانيكية أفضل عند استخدامها في المواد المركبة المشكلة بطريقة حقن المنصهر المتناظرة كما في متراكب البروبيلين المدعم بألياف هذه النبتة [1]. ومع ذلك، فإن قدرة هذه الصبغة على تطعيم مونومرات الفنيل (Vinyl monomers) لا تزال مجهولة. ولقد ألهمت المهارات المتعددة لهذه التقنية الكيميائية المتميزة الباحثين بأفكار تتضمن تطبيقها على سلسلة ليفية نقية من صبغة *Hibiscus sabdariffa* من خلال استخدام أكريليت مثيل كفء كمونومر أساس ودراسة تأثيره التراكمي في مزيج مونومر الفنيل الثنائي مع مونومرات ثانوية عند ظروف عملية مثلى. لقد جرت دراسة الخواص المتميزة لهذه الصبغة، مثل سلوك الابتلاع وسلوك امتصاص الصبغة وامتصاص الرطوبة والمقاومة الكيميائية، وإن فرز مثل هذه الخلطات المحددة لمونومر الفنيل قادت إلى تطوير بوليمر مركب بتطعيم جديد يمتلك خواصاً فيزياوية وكيمياوية وحرارية محسنة[4].

تعد مصادر الطاقة التقليدية كالوقود الأحفوري مصادر محددة وتطلق نواتج عمليات استخلاصها مثل أكاسيد النتروجين والكاربون والتي تضر البيئة على سطح الأرض. ونتيجة لذلك، فإن مصادر الطاقة البديلة كالرياح والمياه والطاقة الشمسية تلقى اهتماماً متزايداً منذ عقود عديدة. وتعد الطاقة الشمسية حالة استثنائية ومثيرة للاهتمام من بين مصادر الطاقة البديلة طالما أن الشمس تعد أكبر مصدر للطاقة في حياة الإنسان.في عام 1991، جرى ابتكار نوع جديد من الخلايا الشمسية، عرفت لاحقاً بتسمية الخلايا الشمسية ذات الصبغة الحساسة (Dye-Sensitized Solar Cells) والمعروفة اختصاراً DSSC's، والتي تلقت اهتماماً كبيراً كونها تمتاز بكفاءة تحويل عالية للطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية علاوة على كلفة إنتاجها الواطئة نسبياً. يقوم مبدأ عمل هذا النوع من الخلايا الشمسية على أسس الكيمياء الكهربائية عند الحد الفاصل بين صبغة يتم امتزازها (adsorbed) فوق شبكة مسامية من جسيمات نانوية شبه موصلة (مثل أوكسيد التيتانيوم مثلاً) والإلكتروليت. والشكل (2) يوضح تصميماً نموذجياً للخلية الشمسية ذات الصبغة الحساسة [3](DSSC).

تمتلك صبغة *Hibiscus sabdariffa*المذابة في الإيثانول امتصاصاً عالياً في المنطقة فوق البنفسجية من الطيف الكهرومغناطيسي فيما تمتلك هذه الصبغة امتصاصاً جيداً في المنطقة المرئية لكنه أوطأ من سابقه في المنطقة فوق البنفسجية، وهذا يؤكد جدوى استخدام هذه الصبغة في خلايا أوكسيد التيتانيوم الشمسية من نوع DSSC[3-6].

في هذا البحث، أجريت دراسة للخصائص الطيفية لصبغة *Hibiscus sabdariffa* العضوية في مذيبات مختلفة من خلال دراسة تأثير تركيز الصبغة في المحلول على ألياف الامتصاص والنفاذية علاوة على دراسة تأثير إضافة جسيمات من مادة شبه موصلة على مثل هذه الخصائص الطيفية.

الجزء العملي

تضمن الجزء العملي في هذه البحث تحضير مسحوق دقيق من صبغة *Hibiscus sabdariffa* من خلال انتخاب أوراق نقية ونظيفة من أزهار نبتة الروزيل وطحنها وغربلتها للحصول على حجم حبيبي دقيق

ومتجانس. جرى وزن عينات مختلفة من المسحوق وتصنيفها إلى ثلاث مجموعات أساسية تبعاً لكتلة العينة (M1, M2, M3) وبالترتيب التالي:

M1 = 0.212 g; M2 = 0.424 g; M3 = 0.636 g

استخدم الماء المقطر غير الأيوني والإيثانول عالي النقاوة (99.9%) والأسيتون النقي (98%) كمذيبات للصبغة التي يحتويها المسحوق المحضر، وقد تم تحضير عينات مختلفة من محلول الصبغة والمذيب بناء على النسب الحجمية بينهما وتم وضعها في أنابيب اختبار محكمة الغلق، وكما مبين في الشكل (3)، وحفظها عند درجة حرارة الغرفة بعيداً عن الضوء المفرط وارتفاع درجة الحرارة تجنباً لتحلل العينات وتلفها.

أجريت القياسات الطيفية (الامتصاص والنفاذية) على العينات المحضرة باستخدام مقياس التحليل الطيفي (UV-Visible spectrophotometer) نوع SpectraAcademy SV-2100 والذي يعمل في مدى الأطول الموجية (166-962nm) وبدقة تحليل بصرية بحدود 2nm FWHM وتوظيف كاشف نوع CCD بدقة 2048 pixels. وهذا الجهاز قابل للربط إلى الحاسوب لغرض التحكم بعملية القياس بدقة متناهية وموثوقية عالية وقابلية متميزة على إعادة القياس والتكرار.إن جميع النتائج المقدمة في هذه الدراسة تمثل قيم المعدل لقراءات متتالية لغرض تحقيق الموثوقية المطلوبة لمثل هذه الدراسات التحليلية الدقيقة.

النتائج والمناقشة

قبل الشروع بمناقشة النتائج التي تمثل جوهر هذه الدراسة، جرى تحديد المدى المؤثر من الأطوال الموجية التي تتأثر بالخواص الطيفية لصبغة *Hibiscus sabdariffa* المذابة في مذيباتمختلفة لغرض تحديد قمم الامتصاص والنفاذية، فالشكل (4) يوضح أطياف الامتصاص النموذجية للصبغة المذابة في مذيبات مختلفة (الماء المقطر، الإيثانول، الأسيتون) ضمن مدى الأطوال الموجية 400-800nm إذ تم التركيز على الخصائص الطيفية في منطقة الأطوال الموجية المرئية لأهمية ذلك في جانب استخدام الصبغة في الخلايا الشمسية نوع DSSC على الرغم من أن الخصائص الطيفية لهذه الصبغة في منطقة الأطوال الموجية فوق البنفسجية يمكن أن تمثل موضع اهتمام تطبيقات أخرى.

يظهر من الشكل أن قيم الامتصاص للعينات الثلاثة متقاربة للغاية، ومع ذلك فإن التحليل الدقيق لهذه الأطياف تظهر أن إذابة الصبغة في الماء يجعلها أكثر امتصاصاً للأطوال الموجية قيد الدراسة ويأتي طيف الامتصاص لعينة الصبغة المذابة في الأسيتون في المرتبة الثانية فيما تظهر العينة المذابة في الإيثانول امتصاصاً أقل من سابقتيها، وكما يتضح من الشكل. يمكن أن يعزى ذلك إلى أن معظم خواص البوليمرات الخطية تخضع لعاملين مختلفين، فالتركيب الكيميائي للمونومرات يحدد قوة التفاعل ما بين السلاسل كما يحدد تفاعل البوليمر مع الجزيئات المضيفة أو مع الحدود الفاصلة. كذلك، فإن تركيب المونومر يحدد التطابقات الموضعية الممكنة في سلسلة البوليمر. وهذه العلاقة ما بين التركيب الجزيئي والتفاعل مع الجزيئات المحيطة أو المضيفة يكون مشابهاً لما عليه الحال في المركبات ذات الوزن الجزيئي الواطئ. أما العامل الثاني المهم والذي يحكم خواص البوليمر فهو الوزن الجزيئي، وعلى النقيض من المركبات ذات الوزن الجزيئي الواطئ، فإن هذا العامل يلعب دوراً أساسياً في سلوك البوليمر، فهو يحدد ديناميكية النمط ولزوجة البوليمر في المحاليل [7].

ووفقاً للتراكيب الجزيئية للصبغة والمذيبات الثلاثة، فإن وجود أربع جزيئات هيدروكسيد (OH) في التركيب الجزيئي للصبغة يؤهلها للبحث عن وفرة من الهيدروجين للتآصر وهو ما يوفره كل من الإيثانول والأسيتون لاحتوائهما على خمس وست ذرات هيدروجين، على التوالي، ضمن التركيب الجزيئي لكل منهما، خلافاً للماء طبعاً، وهو ما يجعل قابلية التفاعل ما بين الصبغة وكل من الإيثانول والأسيتون أعلى مما هو الحال مع الماء وبالتالي فإن توقع ذوبان مقداراً أكبر من الصبغة في الإيثانول والأسيتون هو أمر طبيعي[8]. ونتيجة لذلك، فإن تفاعل الصبغة مع المذيب يقلل من تركيز الصبغة التي تمتلك خاصية الامتصاص لمدى الأطوال الموجية الساقطة عليها، فيؤدي إلى نقصان شدة الامتصاص، وهو ما يظهر جلياً في الشكل (4).

يوضح الشكل (5) أطياف النفاذية النموذجية للصبغة المذابة في مذيبات مختلفة (الماء المقطر، الإيثانول، الأسيتون) ضمن مدى الأطوال الموجية 400-800nm ويلاحظ أن نفاذية العينة المذابة في الأسيتون تمتلك نفاذية أعلى من العينتين المذابتين في الماء والإيثانول مع التأكيد على انخفاض قيم النفاذية للعينات الثلاثة عموماً. يمكن القول أن نمط تفاعل صبغة Hibiscus sabdariffa مع الأسيتون من خلال إذابتها فيه لا يتجه باتجاه الكبح أو الإخماد الذي أظهره طيف الامتصاص في الشكل (4) سابقاً مقارنة بالعينة المذابة في الماء، فيما تظهر العينة المذابة في الإيثانول امتصاصاً ونفاذية أقل من العينتين الأخريين وهذا يدل على تأثير الكبح الذي يفرضه الإيثانول على الفاعلية الطيفية لصبغة Hibiscus sabdariffa العضوية وهو السلوك العام للإيثانول مع المركبات العضوية المماثلة. استناداً للنتائج المقدمة في الشكلين أعلاه، فقد تم توجيه الدراسة للتركيز على

خصائص عينات الصبغة المذابة في الماء والأسيتون واستبعاد تلك المذابة في الإيثانول لتمثل موضوع دراسة أخرى لاحقة.

يوضح الشكل رقم (6) طيف الامتصاص لصبغة Hibiscus sabdariffa المذابة في الماء المقطر غير الأيوني بتراكيز مختلفة. ويلاحظ من هذا الشكل أن امتصاصية الصبغة تزداد بمقدار 300% خلال منطقة الأطوال الموجية المرئية (400-700nm) لتبدأ بالتناقص من جديد مع دخول الطيف منطقة الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة. ويظهر الشكل أيضاً تطابقاً تاماً تقريباً بين أطياف الامتصاص للتراكيز الثلاثة المعتمدة في هذه الدراسة مما يعكس عدم تأثير تغير التركيز على خصائص الامتصاص للصبغة عند إذابتها في الماء، ويمكن أن يعزى ذلك إلى أن الحدود القصوى للتراكيز المعتمدة في هذه الدراسة هي أوطأ من القيم المؤثرة من هذه الصبغة عند إذابتها في الماء خاصة وأن قابلية هذه الصبغة على التفاعل الكيميائي مع الماء تكون واطئة بسبب التركيب الجزيئي الخاص بها. كما يمكن أن يعزى هذا التطابق بين أطياف الامتصاص عند التراكيز الثلاثة إلى أن طول عينة الاختبار (1cm) يعد قصيراً نسبياً إذا ما أريد لتركيز هذه الصبغة أن يؤثر بشكل ملحوظ على طيف امتصاصها (وخصائصها الطيفية عموماً) تبعاً لتحليل قانون Beer-Lambertللامتصاص[9].

يوضح الشكل (7) أطياف النفاذية لصبغة Hibiscus sabdariffa المذابة في الماء المقطر غير الأيوني بثلاث تراكيز مختلفة (M1, M2, M3) في مدى الأطوال الموجية (400-800nm) ويظهر فيه انخفاض نفاذية الصبغة للأطوال الموجية في هذا المدى بشكل شديد، وهو ما يعكس الامتصاصية العالية التي جعلت هذه الصبغة مرشحة للاستخدام في الخلايا الشمسية نوع DSSC. وبشكل ضمني، يلاحظ أن زيادة تركيز الصبغة المذابة في الماء تؤدي إلى تقليل نفاذيتها للأطوال الموجية المرئية وهو ما يتوافق مع نص قانون Beer-Lambert للامتصاص.

بطريقة مماثلة، يوضح الشكل (8) أطياف الامتصاص لصبغة Hibiscus sabdariffa المذابة في الأسيتون بتراكيز مختلفة لمدى الأطوال الموجية 400-800nm، فابتداء من منطقة الأطوال الموجية الأطول من 550nm فإن التركيز الأوطأ (M1) يمتلك طيف امتصاص أقل من التركيزين الآخرين وسبب ذلك أن المذيب (الأسيتون) استطاع أن يذيب الصبغة ذات التركيز الواطئ وبالتالي يقلل من مقدار العينة التي تمتلك القدرة على الامتصاص، فيما يحتم استخدام الصبغة بتركيز أكبر (M2, M3) وجود مقدار أكبر من العينة الفعالة طيفياً. ومع ذلك، فإن حدود الامتصاص للعينات الثلاثة واطئة جداً (4~0)كما يتضح ذلك من الشكل. تتماثل الأطياف الثلاثة من حيث الشكل وهو ما يعد صفة عامة لإذابة صبغة Hibiscus sabdariffa في الأسيتون، وتعد دراسة طيف الامتصاص عند هذه الحدود أمراً غاية في الأهمية إذا ما أريد العمل على تحسين خصائص الخلية الشمسية التي تستخدم مثل هذه الصبغة بشكل دقيق، كما تؤخذ هذه الحدود بنظر الاعتبار إذا ما استخدمت مثل هذه الصبغة في بناء التراكيب الضوئية الكمية كالأوساط الفعالة لليزر والمفاتيح الضوئية الكمية وغيرها.

يمكن أن يعزى اختلاف الخصائص الطيفية ما بين عينات الصبغة المذابة في الأسيتون وتلك المذابة في الإيثانول إلى التركيب الجزيئي لكل منهما، فوجود ذرة الأوكسجين المتآصرة مع إحدى ذرات الكاربون الثلاث في التركيب الجزيئي للأسيتون مقارنة بجذر الهيدروكسيد (OH) المرتبط بإحدى ذرتي الكاربون في التركيب الجزيئي للإيثانول يمثل عاملاً بالغ التأثير في زيادة قابلية الأسيتون على التفاعل مع صبغة Hibiscus sabdariffa المذابة فيه بدرجة أكبر مما عليه الحال في الإيثانول، إذ تمتلك ذرة الأوكسجين تلك قابلية أعلى لاختراق التركيب الجزيئي للصبغة وتغييره بالاتجاه الذي يقلل من تركيز الصبغة وبالتالي نقصان مقدار الامتصاص الذي يتم من قبلها للأطوال الموجية الساقطة عليها[10].

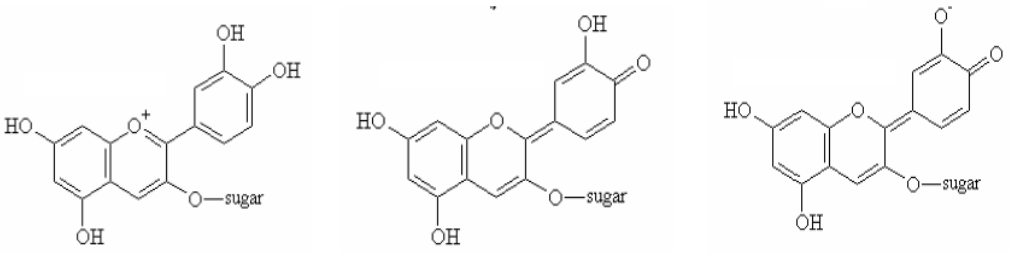
إنالهدف الأساس من إجراء هذه الدراسة هومعرفةالمميزات والخصائص الطيفية لصبغة Hibiscus sabdariffa العضوية والتي تعد مادة واعدة للاستخدام في الخلايا الشمسية نوع DSSC لذا فقد جرى إضافة شوائب من مادة شبه موصلة هي كاربيد السيليكون عالي النقاوة (SiC, 99.9%) إلى عينات الصبغة المذابة في المذيبات الثلاثة نفسها وقياس أطياف النفاذية لها، وكما مبين في الشكل (9). ويتضح من الشكل أن سلوك النفاذية يكون مماثلاً لما تم تقديمه سابقاً في الشكل (5) مع نقصان شدة النفاذية إلى الثلث تقريباً، وهو ما يعزى إلى تأثير وجود جسيمات SiC في المحلول كونها غير نفاذة لهذا المدى من الأطوال الموجية. كما يتضح من الشكل نفسه أن طيفي النفاذية للعينات المذابة في الماء والإيثانول حافظا على نفس المدى المبين في الشكل (5) وهو 560- 570nm تقريباً بينما أزيحت حافة طيف النفاذية لعينة الصبغة في الأسيتون بشكل ملحوظ من منطقة الأطوال الموجية تحت الحمراء إلى الطول الموجي 770nm تقريباً والسبب هو الفاعلية الطيفية لجسيمات SiC في المنطقة تحت الحمراء، كما يتضح في الشكل (10). وهذا السلوك جدير بالاهتمام عند تصميم الخلية الشمسية نوع DSSC باستخدام مادة شبه موصلة (مثل SiC) وصبغة عضوية (مثل Hibiscus sabdariffa).

يظهر من الشكل (11) أن طيف الامتصاص لصبغة Hibiscus sabdariff*a* المذابة في الأسيتون يتأثر بوجود جسيمات SiC شبه الموصلة في محلول الصبغة إذ تقل شدة الامتصاص ابتداء من الطول الموجي

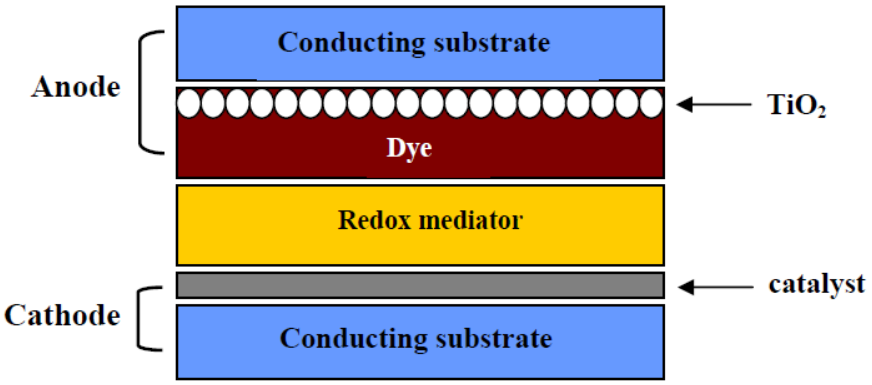
550nm تقريباً لتصل نسبة النقصان في الشدة إلى 350% تقريباً من قيمتها في حال عدم وجود هذه الجسيمات في محلول الصبغة، فيما تبدأ شدة الامتصاص بالتزايد من جديد مع دخول منطقة الأطوال الموجية تحت الحمراء (>750nm). من خلال جمع هذا التأثير إلى التأثير المبين في الشكل (10) أعلاه، يمكن القول أن جسيمات SiC شبه الموصلة لعبت دوراً مهماً في الحد من الخصائص الطيفية لصبغة Hibiscus sabdariffa العضوية إذ تمثل هذه الجسيمات مراكز استطارة للإشعاع الساقط في منطقة الأطوال الموجية المرئية فتمنع بذلك فوتونات الضوء الساقط من المرور عبر العينة (الصبغة) كما تحد من امتصاصه من قبل الصبغة نفسها. وهذا التأثير يتحدد بشكل أساسي بالحجم الحبيبي لجسيمات SiC الموجودة في المحلول، أو أية جسيمات أو شوائب أخرى يمكن أن تتواجد في محلول الصبغة، مما قد يؤثر سلباً على أدائها المطلوب من وراء استخدامها في الخلايا الشمسية نوع DSSC التي تقدم وصفها.

الاستنتاجات

من خلال النتائج المستحصلة في هذا البحث، يمكن استنتاج أن صبغة Hibiscus sabdariffa العضوية تمثل واحدة من الصبغات واعدة الاستخدام في مجال الخلايا الشمسية نوع DSSC استناداً إلى خصائصها الطيفية التي تلائم بناء هذا النوع من محولات الطاقة الشمسية. كما أظهرت الدراسة اعتماد الخصائص الطيفية لهذه الصبغة على نوع المذيب بشكل ملحوظ وأن اختيار المذيب المناسب لها يجب أن يراعي بلوغ أفضل الخصائص الطيفية التي تحقق الهدف من استخدامها كوسط عضوي متحسس لضوء الشمس. كما أظهرت الدراسة أن الخصائص الطيفية للصبغة المذابة في المذيب المناسب تتأثر بوجود جسيمات من مادة شبه موصلة في المحلول الذي يحتويها إذ تعمل هذه الجسيمات على استطارة الإشعاع الكهرومغناطيسي الساقط على الصبغة في منطقة الأطوال الموجية المرئية فيسبب نقصان شدة الجزئين الممتص والنافذ من الإشعاع، فيما تعمل هذه الجسيمات على امتصاص الإشعاع في منطقة الأطوال الموجية تحت الحمراء والتي هي خارج مدى العمل في هذه الدراسة.

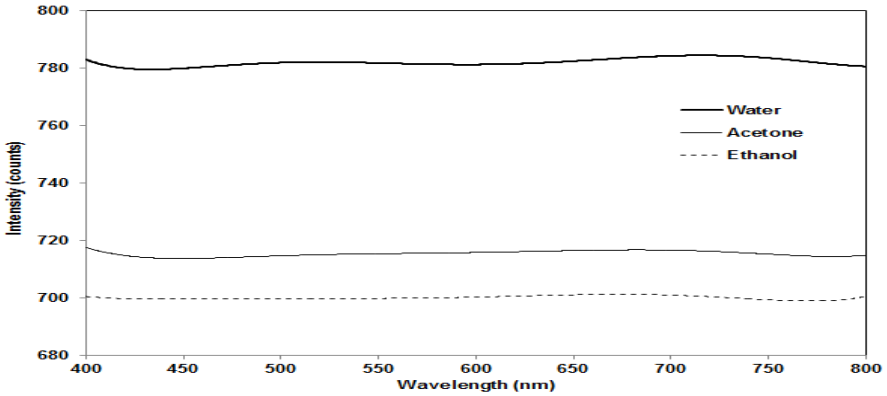


شكل (1) التركيب الجزيئي لمادة الأنثوسيانين عند قيم مختلفة من الرقم الهيدروجيني (pH)[4]

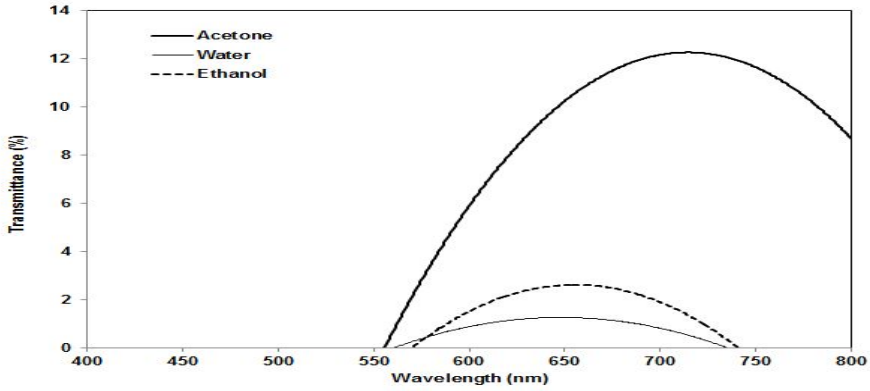


شكل (2) التصميم النموذجي للخلية الشمسية ذات الصبغة الحساسة (DSSC)[3]

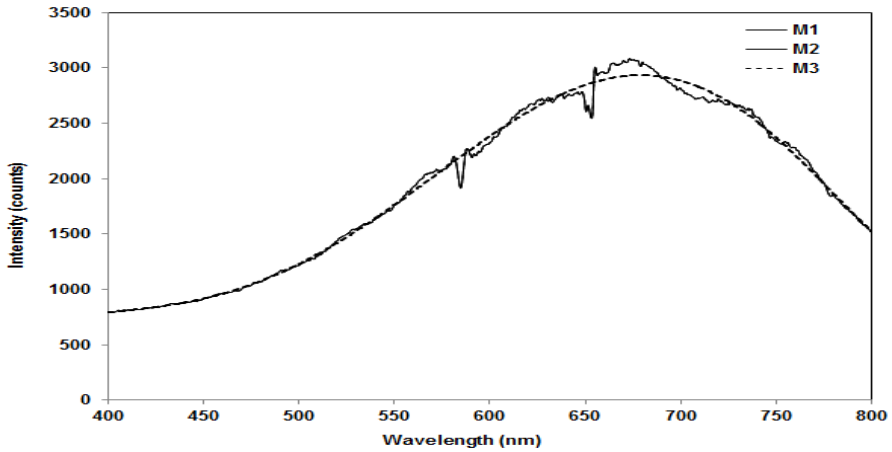
شكل (3) أنابيب الاختبار المستخدمة لحفظ العينات المحضرة بتراكيز مختلفة



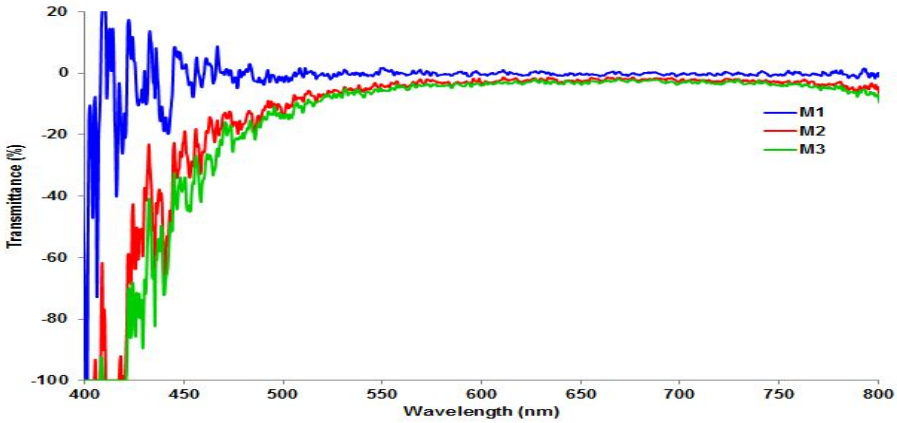
شكل (4) أطياف الامتصاص النموذجية للصبغة المذابة في مذيبات مختلفة (الماء المقطر، الإيثانول، الأسيتون) ضمن مدى الأطوال الموجية 400-800nm



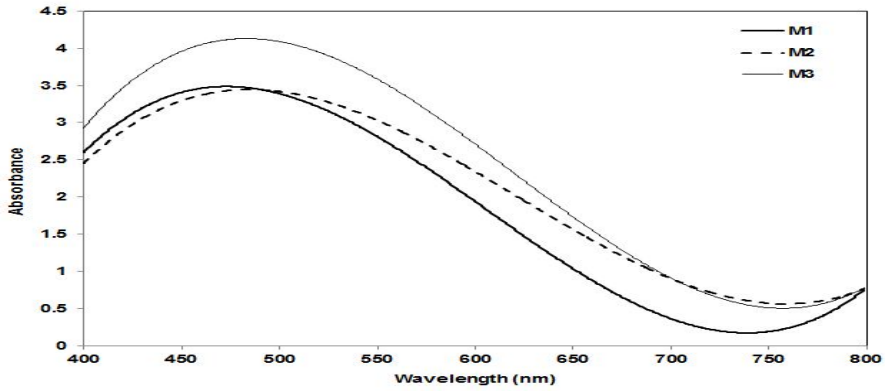
شكل (5) أطياف النفاذية النموذجية للصبغة المذابة في مذيبات مختلفة (الماء المقطر، الإيثانول، الأسيتون) ضمن مدى الأطوال الموجية 400-800nm



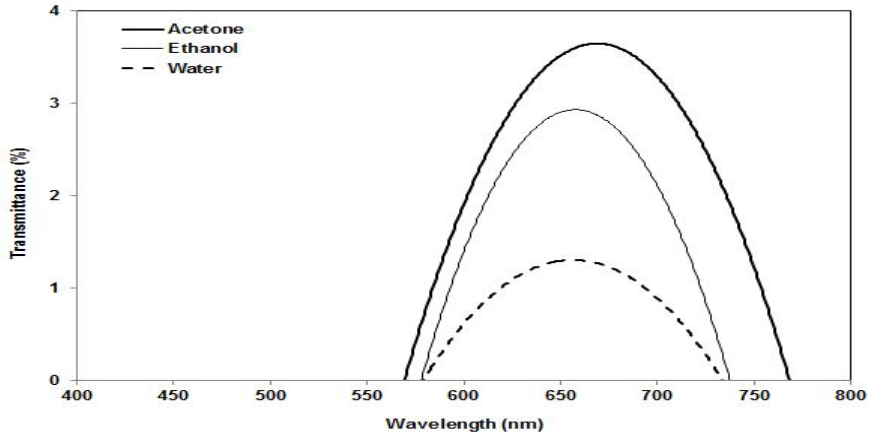
شكل (6) طيف الامتصاص لصبغة *Hibiscus sabdariffa* المذابة في الماء المقطر غير الأيوني بثلاث تراكيز مختلفة (M1, M2, M3) ويمثل الخط المتصل النتائج العملية المقاسة فيما يمثل الخط المنقط المنحني النموذجي الافتراضي



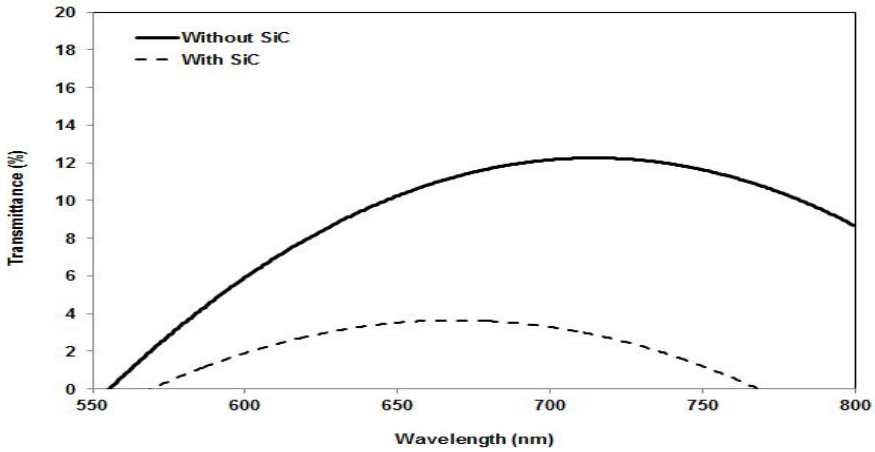
شكل (7) أطياف النفاذية لصبغة Hibiscus sabdariffa المذابة في الماء المقطر غير الأيوني بثلاث تراكيز مختلفة (M1, M2, M3)



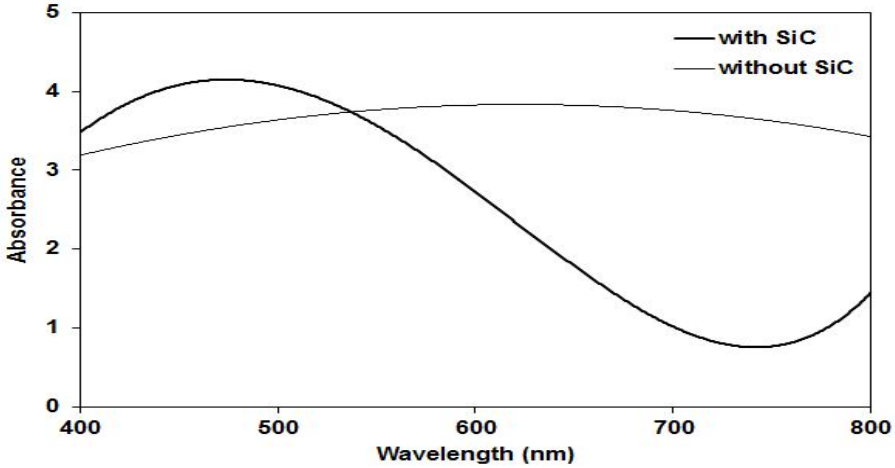
شكل **(8) أطياف الامتصاص لصبغة Hibiscus sabdariffa المذابة في الأسيتون بتراكيز مختلفة (M1, M2, M3)**



شكل (9) أطياف النفاذية لعينات الصبغة المذابة في مذيبات مختلفة (الماء المقطر، الإيثانول، الأسيتون) عند التركيز M1 مع وجود شوائب من مادة SiC شبه الموصلة



شكل (10) طيف النفاذية لعينة صبغة Hibiscus sabdariff*a* المذابة في الأسيتون بتركيز M1 في حالة وجود وعدم وجود جسيمات SiC شبه الموصلة في المحلول



شكل (11) طيف الامتصاص لعينة صبغة Hibiscus sabdariffa المذابة في الأسيتون بتركيز M1 في حالة وجود وعدم وجود جسيمات SiC شبه الموصلة في المحلول

المصادر

[1] Chauhan, A.and Kaith, B.(2011): Development and Evaluation of Novel Roselle Graft Copolymer, Malaysian Polymer J., vol. 6, no. 2, pp. 176-188.

[2] Selim, K.A. Khalil, K.E., Abdel-Bary, M.S. and Abdel-Azeim, N.A. (2013): Extraction, Encapsulation and Utilization of Red Pigments from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) as Natural Food Colourants, online article.

[3] Sorachoti, K. (2006): Crude Dyes Extracted From Plants And *Monascus* Rice Cultrues As Sensitizers In Solid-State Dyesensitized Solar Cells, M.Sc. thesis, Kasetsart University, Thailand.

[4] Morales-Cabrera, M.,Hernández-Morales, J.,Leyva-Rúelas, G., Salinas-Moreno, Y., Soto-Rojas, L. and Castro-Rosas, J. (2013): Influence of variety and extraction solvent onantibacterial activity of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)calyxes, J. Med. Plants Res., vol. 7, no. 31, pp. 2319-2322.

[5] Cissouma, A.I.,Tounkara, F.,Nikoo, M.,Yang, N. and Xu, X. (2013): Physico Chemical Properties and Antioxidant Activity of Roselle Seed Extracts, Adv. J. Food Sci. Technol., vol. 5, no. 11, pp. 1483-1489.

[6] Ihuma, J.O,Asenge,G.H.,Abioye, J.O.K. and Dick, S.K.(2012): Application of methanolic extracts from *Hibiscus sabdariffa*linn as a biological staining agent for some fungal species, Int. J. Plant, Animal and Environ. Sci. (IJPAES), vol. 2, no. 2, pp. 254-259.

[7] Encyclopedia of Chemical Physics and Physical Chemistry: (2004) C2.1 Polymers, Pierre Robyr, p. 3.

[8] Aishah, B., Nursabrina, M., Noriham, A., Norizzah, A.R. and Mohamad Shahrimi, H. (2013):Anthocyanins from *Hibiscus sabdariffa*, Melastomamalabathricum and Ipomoea batatas and its color properties, Int. Food Res. J., vol. 20, no. 2, pp. 827-834.

[9] Chauhan, A.and Kaith, B.(2012): Accreditation of Novel Roselle Grafted Fiber Reinforced Bio-Composites, J. Eng. Fibers and Fabrics, vol. 7, no. 2, pp. 66-75.

[10] Sukwattanasinit, T. (2008): Application of Chemometrics for Quality Control of *Hibiscus sabdariffa* L., Ph.D. thesis, Silpakorn University, Thailand.