بیست و یکمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و هفتمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۲۳ تا ۲۵ دی ماه ۱۳۹۳، دانشگاه شهید بهشتی

سلول خورشیدی حساس شده با رنگ طبیعی بر پایه نانوذرات TiO_2

سعیده ملکی، مجید قناعت‌شعار

آزمایشگاه نانومغناطیس و نیمرساناهای مغناطیسی، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران
هسته پژوهشی سلول‌های خورشیدی، دانشگاه شهید بهشتی، اوین، تهران

چکیده - در این مقاله خواص نوری و الکتریکی دو نوع رنگ طبیعی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا، دو سلول خورشیدی با الکترود آند متشکل از نانوذرات TiO_2 تهیه کردیم. برای رنگ‌آمیزی لایه‌های متخلخل از رنگدانه‌های طبیعی کاسبرگ گیاه چای ترش و میوه گیاه سرخاب استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهندکه سلول رنگ‌آمیزی شده با میوه گیاه سرخاب، جذب نور قوی‌تری در ناحیه مرئی نسبت به گیاه چای ترش دارد و این امر منجربه بازدهی بیش‌تر سلول خورشیدی حساس شده با این رنگ شده است.

کلید واژه- سلول خورشیدی رنگدانه‌ای، رنگ طبیعی، نانوذرات TiO_2.

Natural Dye-Sensitized Solar Cell Based on Nanoparticle TiO_2

Saeedeh Maleki, Majid Ghanaatshoar

Laser and Plasma Research Institute, Shahid Beheshti University, G.C., Evin, 1983969411, Tehran, Iran
Solar Cells Research group, Shahid Beheshti University, G.C., Evin, 1983969411, Tehran, Iran

Abstract- In this paper, electrical and optical properties of two types of natural dyes is investigated. In this direction, the solar cells with the anode electrode of TiO_2 nanoparticles were prepared. Porous layers by natural dyes, Hibiscus sabdariffa and Pokeweeds were sensitized. Results show that sensitized cells with Pokeweeds strongly absorbs light in the visible region and this leads to more efficient solar cells sensitized with this dye.

Keywords: Dye-sensitized solar cell, Natural dye, Nanoparticle TiO_2

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

۱- مقدمه

سلول خورشیدی قطعه‌ایست که فوتون‌های با طول موج معین را به الکتریسته تبدیل می‌کند. تهیه سلول خورشیدی با هزینه پایین در سه دهه گذشته بسیار مورد توجه بوده است. سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای دسته‌ی جدیدی از سلول‌های خورشیدی کم هزینه هستند که به آسانی بیش‌تری نسبت به سلول‌های نسل اول تهیه می‌شوند. TiO_2 که یک نیمرساناست، ماده مرسوم این سلول‌ها و در نقش آند است که یک مولکول رنگ که جاذب نور خورشید است روی آن را می‌گیرد. این مولکول همانند سبزینه در گیاهان عمل می‌کند. برای افزایش بازدهی، باید ساختار تیتانیا متخلخل بوده تا حداکثر سطح تماس با مولکول بوجود آید. این ساختار با یک الکترولیت پوشانیده شده و یک فلز مانند پلاتین، نقره یا طلا که در نقش کاتد است روی آن رسوب داده می‌شود تا سلول بدست آید.

بازده سلول خورشیدی رنگدانه‌ای با بازده تزریق الکترون به نوار رسانش نیمرسانای نانوساختاری متناسب است. کامپلکس‌های فلزی که به عنوان رنگ جهت حساس‌سازی استفاده می‌شوند، فرآیند ساخت پیچیده و پر هزینه‌ای دارند. استفاده از رنگ‌های طبیعی با لبه‌ی جذب در محدوده‌ی نورمرئی، فرابنفش و فروسرخ نزدیک هزینه ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای را پایین می‌آورند. رنگ طبیعی موجود در برگ، گل و میوه را می‌توان با روش‌های ساده استخراج کرد [۱]. با توجه به هزینه پایین، غیر سمی بودن و تجزیه زیستی کامل، رنگ‌های طبیعی موضوع محبوب بیشتر تحقیقات بوده است. به این ترتیب، تاکنون چندین رنگ طبیعی مانند آنتوسیانین[1]، کاراتن[2]، تانن[3] و کلروفیل[4] به عنوان حساس کننده در سلول‌های خورشدی رنگدانه‌ای استفاده شده‌اند [۲].

در این مقاله، ابتدا ویژگی نوری رنگدانه‌های طبیعی را بررسی می‌کنیم و در بخش بعدی آماده‌سازی سلول خورشیدی با استفاده از دو نوع رنگ طبیعی توصیف می‌شود. در بخش سوم به بررسی خصوصیات نوری و مشخصات الکتریکی سلول خورشیدی رنگدانه‌ای آماده شده با کاسبرگ گیاه چای ترش[5] و گیاه سرخاب[6] می‌پردازیم.

۲- روش ساخت

نانوذرات TiO_2 با روش سل-ژل که به صورت دقیق در مراجع [۳] و [۴] آورده شده است، سنتز شدند. پس از تهیه نانوذرات با اندازه مطلوب، ۶ گرم از نانوذرات TiO_2 را در داخل هاون با ۹ میلی‌لیتر اسید استیک، ۸ میلی‌لیتر آب و ۱ قطره سورفکتانت غیر یونی Triton X-100 ترکیب کردیم تا خمیری از نانوذرات TiO_2 تشکیل شود. خمیر را با روش لایه نشانی دکتر بلید[7] بر روی زیر لایه FTO که قبلاً بخوبی شسته شده بود لایه نشانی کردیم. زیر لایه‌ها در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳۰ دقیقه در کوره هوا حرارت داده شدند [۱]. پس از اتمام حرارت‌دهی، لایه‌های TiO_2 باید تراشیده شوند تا به ابعاد استاندارد در حدود ۰/۲۵ سانتیمترمربع برسند. سطح فعال سلول‌ها با استفاده از کولیس اندازه گرفته شد. برای رنگدانه‌گذاری این لایه‌ها آن‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در رنگ بدست آمده از میوه گیاه سرخاب و محلول چای ترش و آب مقطر که در دمای ۶۰ درجه بدست آمده بود، قرار دادیم. پس از گذشت این مدت زمان، زیرلایه‌ها را از محلول رنگ خارج کرده و با اتانول شستشو داده و خشک می‌کنیم؛ دلیل این کار این است که تنها باید یک لایه از رنگدانه روی دی‌اکسید تیتانیوم نشسته باشد و چون لایه‌های احتمالی بعدی دیگر پیوند شیمیایی با TiO_2 نداده‌اند به راحتی در اتانول شسته می‌شوند. در این کار محلول الکترولیت با حل کردن ۰/۰۵ مولار I_2 و ۰/۵ مولار LiI در ۱۵ میلی‌لیتر استونیتریل تهیه شد. الکترود مقابل (کاتد) از به کار بردن لایه نازکی از پلاتین بر طرف رسانای زیرلایه شیشه‌ای FTO بدست آمد. اتم‌های پلاتین به عنوان کاتالیزر به واکنش اکسایش-کاهش رنگ سرعت می‌بخشند.

اطراف لایه TiO_2 را با پلیمری جهت تزریق الکترولیت پوشاندیم. یک قطره از محلول الکترولیت به الکترود TiO_2 افزودیم. بعد از اضافه کردن الکترولیت به الکترود TiO_2، سلول با قرار دادن دو الکترود بر یکدیگر با جابجایی حدود

[1] Anthocyanin
[2] Carotene
[3] Tannin
[4] Chlorophyll
[5] Hibiscus sabdariffa
[6] Pokeweeds
[7] Doctor blade deposition technique

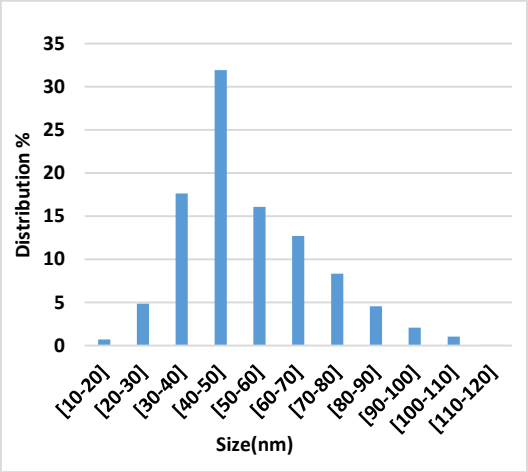
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]

۰/۵ سانتی‌متر آماده می‌شود. این جابجایی بین دو الکترود برای اتصال الکتریکی لازم است. دو الکترود را با استفاده از دو گیره بر روی هم محکم کردیم. پس از تولید سلول خورشیدی کیفیت آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. اندازه-گیری ولتاژ مدار باز و جریان اتصال کوتاه تحت نور لامپ تنگستن انجام شد. جهت تعیین اندازه ذرات سنتز شده، خواص الکتریکی سلول و خواص نوری رنگ‌ها به ترتیب از تحلیل اندازه‌ی ذرات[1] (PSA)، چیدمان پروب چهار نقطه-ای و طیف سنج UV-VIS استفاده کردیم.

۳- بحث و نتایج

به طور کلی عملکرد فوتوولتائیک سلول‌ها تحت تاثیر عوامل زیادی است: در درجه اول ساختار رنگ باید چندین گروه هیدروکسیل یا کربونیل داشته باشد تا به سطح TiO_2 بچسبد. این مطلب در واقع توضیح می‌دهد که چرا برخی از رنگ‌های طبیعی حساس کننده‌های خوبی نیستند. در درجه دوم الکترولیت باید مولکول رنگ اکسید شده را به سرعت احیا کند و در درجه سوم، ضخامت لایه متخلخل TiO_2 نباید بیش از ۳۰ میکرومتر باشد تا از طول پخش الکترون- بیش‌تر از ضخامت لایه TiO_2 - اطمینان حاصل شود [۵]. همان‌گونه که گفتیم نانوذرات TiO_2 به روش سل-ژل سنتز شدند. در شکل ۲ توزیع اندازه‌ی نانوذرات بکار گرفته شده برای ساخت سلول، رسم شده است. همان‌طور که از نمودار پیداست، نانوذرات تهیه شده ابعادی بین۱۰-۱۱۰ نانومتر دارند. میانگین اندازه نانوذرات تهیه شده ۴۹ نانومتر است.

برای درک قدرت رنگ‌های طبیعی انتخاب شده به عنوان حساس کننده، از دستگاه طیف‌سنج UV-vis استفاده می‌شود. در شکل ۲ طیف جذبی رنگ‌های طبیعی چای ترش و میوه گیاه سرخاب را می‌بینیم. رنگ میوه گیاه سرخاب و چای ترش، سطح بالایی از جذب را در ناحیه مرئی و فرابنفش نشان می‌دهند و در طول موج ۵۴۰ نانومتر حداکثر جذب را دارند. البته این جذب در رنگ میوه گیاه سرخاب قوی‌تر است. بنابراین، می‌توان انتظار داشت این رنگ سلولی با کیفیت بهتر فراهم کند. این جذب را به آنتوسیانین و ترکیبات فنلی[2] و جذب شیمیایی



شکل۱: نمودار توزیع اندازه نانوذرات TiO_2.

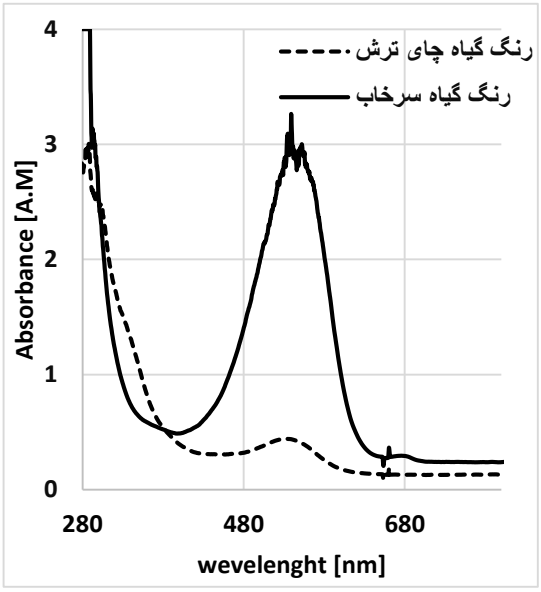
این رنگ‌ها بر سطح نانوذرات TiO_2 را به تراکم گروه‌های هیدروکسیل در این رنگ‌ها نسبت می‌دهند [۲].

عملکرد رنگ‌های طبیعی توسط ولتاژ مدار باز (V_{OC})، جریان اتصال کوتاه (J_{SC})، ضریب پر شدگی (FF) و بازده (η) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور محاسبه بازده سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه‌های طبیعی، از چیدمان پروپ چهار نقطه، متشکل از دو مولتی‌متر، یک مقاومت ثابت و یک منبع تغذیه با نام کروما[3] و همچنین یک لامپ تنگستن ۲۰۰ واتی، که در فاصله ۱۰ سانتیمتر توان تابشی ۸۹ میلی وات بر سانتیمتر مربع را تولید می‌کند و طیف تابشی آن در ناحیه مرئی تا حدودی شبیه نور خورشید می‌باشد، استفاده شده است. پارامترهای فوتوالکتروشیمیایی سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای حساس شده با رنگ طبیعی در جدول ۱ آمده است. شکل ۳ منحنی تغییرات جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی حساس شده با گیاه چای ترش و میوه گیاه سرخاب را نشان می‌دهد.

سلول حساس شده با رنگ میوه گیاه سرخاب، ولتاژ مدار باز، چگالی جریان و ضریب پرشدگی بالاتری نسبت به سلول حساس شده با گیاه چای ترش دارد. همین موضوع منجر به بازده بالاتر این گیاه نسبت به گیاه چای ترش شده است. دلیل این امر را می‌توان به جذب قوی‌تر نور در ناحیه مرئی و فرابنفش نسبت داد که منجر به تزریق الکترون‌های بیش‌تر به نانوذرات TiO_2 شده است.

[1] Particle Size Analysis
[2] Phenolic compounds
[3] Chroma

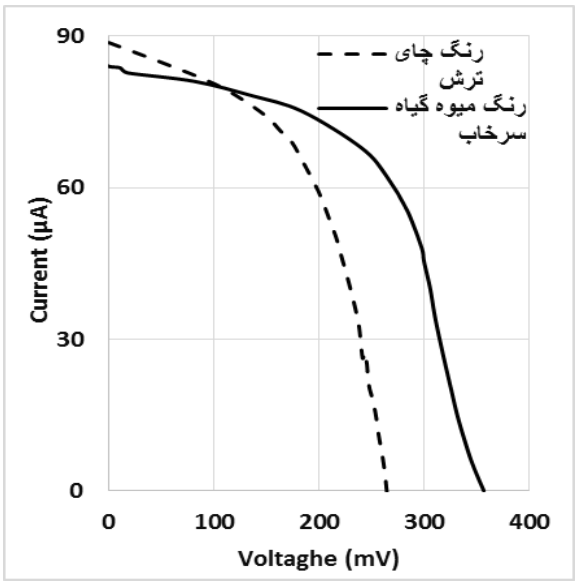
[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]



شکل۲: طیف جذبی رنگ‌های طبیعی چای ترش و میوه گیاه سرخاب.

جدول ۱: مشخصات الکتریکی سلول خورشیدی رنگدانه‌ای حساس شده با رنگ‌های مختلف.

نام رنگ طبیعی	V_{OC} (mV)	J_{SC} ($\mu A/cm^2$)	FF	η (%)
گیاه چای ترش	۲۶۵	۳۵۴/۴	۰/۵۱	۰/۰۵۴
میوه گیاه سرخاب	۳۵۷	۳۷۳/۳	۰/۵۸	۰/۰۸۲



شکل۳: منحنی مشخصه سلول خورشیدی حساس شده با میوه گیاه سرخاب و رنگ چای ترش.

۴- نتیجه‌گیری

در این کار، خواص اپتیکی و فوتوولتائیک نانوذرات حساس شده با دو نوع رنگ طبیعی را مطالعه کردیم. طیف جذبی بدست آمده از هر دو رنگ جذب در ناحیه مرئی و فرابنفش را نشان می‌دهد، اما گیاه سرخاب گستره جذب بالاتری را در ناحیه مرئی دارد و همین امر منجر به جذب نور بالاتری نسبت گیاه چای ترش شده است. این موضوع سبب شده است تا جریان اتصال کوتاه، ولتاژ مدار باز و در نتیجه، بازده سلول خورشیدی بر پایه رنگ گیاه سرخاب نسبت به گیاه چای ترش بالاتر باشد. بازده بدست آمده از سلول خورشیدی حساس شده با گیاه سرخاب حدود ۰/۰۸ درصد است.

مراجع

[1] Jasim K., Al-Dallal Sh., Hassan M., *Henna (Lawsonia inermis L.) Dye-Sensitized Nanocrystalline Titania Solar Cell*, **Journal of Nanotechnology.** 2012 (2011) 976–981.

[2] Hemamali G.G.G.M.N., Kumara G.R.A., *dye-sensitized solid state solar cells sensitized with natural pigment extracted from the grapes*, **International Journal of Scientific and Research Publications.** 3 (2013) 2250-3153.

[3] Carrera-López R., Castillo-Cervantes S., *Effect of the phase composition and crystallite size of sol-gel TiO2 nanoparticles on the acetaldehyde photodecomposition*, **Journal Superficies y Vacío.** 25 (2012) 82-87.

[۴] عاصمی، مرتضی. ملکی، سعیده. قناعت‌شعار، مجید. *بررسی اثر pH بر خواص ساختاری و اپتیکی نانوذارت TiO_2 به منظور بکارگیری در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای*، **بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران به همراه ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران.** ۱۳۹۲.

[5] Jasim K., *Natural Dye-Sensitized Solar Cell Based on Nanocrystalline TiO_2*, ***Sains Malaysiana.*** 41 (2012) 1011–1016.

[Downloaded from opsi.ir on 2025-07-20]