بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

اثر تخلخل بر کارایی سلول خورشیدی رنگدانه‌ای

فاطمه کیماسی، محسن حاتمی و علیرضا کشاورز

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

چکیده – در این مقاله به اثر تخلخل بر روی پارامترهای درون سلولی از قبیل چگالی جریان الکترون (j_e) و چگالی ذرات یون سه بار منفی ($n_{I_3^-}$) پرداخته می‌شود. با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی نشان داده‌ایم که کاهش تخلخل باعث افزایش j_e خواهد شد که کارایی سلول را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر نتایج نشان می‌دهند که افزایش تخلخل، $n_{I_3^-}$ را کاهش می‌دهد. در ادامه منحنی‌ها بیان می‌کنند که کاهش $n_{I_3^-}$ ناشی از افزایش تخلخل باعث افزایش j_e و در نتیجه بهبود بخشیدن کارایی سلول خورشیدی رنگدانه‌ای می‌شود.

کلید واژه- تخلخل، چگالی جریان الکترون، سلول خورشیدی رنگدانه‌ای .

Effect of porosity on the dye solar cell's performance

Fatemeh Keymasi, Mohsen Hatami, Alireza Keshavarz

Department of physics, Shiraz University of Technology, Shiraz

Abstract- In this paper the effect of porosity is investigated on the dye solar cell parameters such as electron current density (j_e) and tri-iodide concentration ($n_{I_3^-}$). The results of numerical simulations show that by decreasing the porosity, the electron current density is increased. This effect causes to improve the efficiency of the solar cell. Also we have obtained that by increasing the porosity the tri-iodide concentration within DSC will be decreased and increase j_e , so the performance of the cell will be improved.

Keywords: Dye solar cell, Porosity, Electron current density

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

۱- مقدمه

خورشید منبع رایگان و قابل دسترس انرژی است. سلول-های خورشیدی نقش تبدیل این انرژی را به انرژی قابل استفاده برای بشر به عهده می‌گیرند. ریگان و گراتزل در سال ۱۹۹۱ روش ساخت سلولهای خورشیدی رنگدانه‌ای را اعلام کردند. سپس به دلیل قیمت پایین آنها و تکنولوژی غیرپیچیده و بازدهی بالایشان در مقایسه با سلولهای خورشیدی آلی رایج، مطالعات خود را در این زمینه به طور مستمر از جنبه‌های گوناگون ادامه دادند [۱-۳]. سلول خورشیدی رنگدانه‌ای به طور کلی شامل یک الکترود فعال، الکترولیت و یک الکترود شمارنده می-باشد [۱و ۲-۴]. در این مقاله به بررسی اثر تخلخل روی پارامترهای سلول خورشیدی از قبیل چگالی جریان الکترون و توزیع چگالی ذرات یدهای سه بار منفی، به-وسیله‌ی شبیه‌سازی پرداخته می‌شود.

۲- مدل فیزیکی

سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای از چندین لایه تشکیل شده‌اند که عبارتند از: الکترود فعال و الکترود شمارنده که شکاف بین این دو با یک الکترولیت پر می‌شود. معادلات در عرض دی اکسید تیتانیوم، رنگدانه و الکترولیت بکار می‌روند [۵]. مولکول رنگدانه نور خورشید را جذب کرده و برانگیخته می‌شود. الکترون در حالت برانگیخته به باند رسانش دی اکسید تیتانیوم تزریق شده و رنگدانه دوباره احیا می‌شود[۶]. معادلات پیوستگی حاکم بر ذرات باردار می‌توانند به این صورت نوشته شوند:

$$\frac{1}{e_0}\frac{dj_e}{dx} = k_e n_e \sqrt{\frac{n_{I_3^-}}{n_{I^-}}} - \int \alpha\phi(\lambda) e^{-\alpha(\lambda)x} d\lambda \qquad (۱)$$

α ضریب جذب است که وابسته به تخلخل است. وقتی که p ≥ ۰.۴۱ باشد، وابستگی ضریب جذب و تخلخل به صورت معادله‌ی (۲) تعریف می‌شود[۷]:

$$\alpha = 2568(1-p)(p+2.89) \qquad (۲)$$

$\phi(\lambda)$ چگالی شار فوتونی و λ طول موج می‌باشد [۸-۱۱]:

$$\frac{1}{e_0}\frac{dj_{I^-}}{dx} = -\frac{3}{2e_0}\frac{dj_e}{dx} \qquad (۳)$$

$$\frac{1}{e_0}\frac{dj_{I_3^-}}{dx} = \frac{1}{2e_0}\frac{dj_e}{dx} \qquad (۴)$$

$$\frac{1}{e_0}\frac{dj_c}{dx} = 0 \qquad (۵)$$

همچنین میدان الکتریکی می‌تواند به‌وسیله‌ی معادله‌ی پواسون بدست آید [۱۲]:

$$\frac{dE}{dx} = \frac{e_0}{\varepsilon\varepsilon_0}[n_c(x) - n_e(x) - n_{I^-}(x) - n_{I_3^-}(x)] \qquad (۶)$$

حاملین بار بوسیله‌ی معادلات انتقال نیز توصیف می‌شوند (معادلات (۹) و (۱۰) و (۱۱) و (۱۲)). در این معادلات وقتی تخلخل بزرگتر از ۰.۴۱ باشد، ضریب نفوذ به صورت معادله‌ی (۷) توصیف می‌شود [۷]:

$$D = 4\times10^{-4}(0.76-p)^{0.82} \qquad (۷)$$

$$\frac{1}{e_0} j_e = D\frac{dn_e}{dx} + \mu_e n_e E \qquad (۸)$$

$$\frac{1}{e_0} j_{I^-} = D\frac{dn_{I^-}}{dx} + \mu_{I^-} n_{I^-} E \qquad (۹)$$

$$\frac{1}{e_0} j_{I_3^-} = D\frac{dn_{I_3^-}}{dx} + \mu_{I_3^-} n_{I_3^-} E \qquad (۱۰)$$

$$\frac{1}{e_0} j_c = -D\frac{dn_c}{dx} + \mu_c n_c E \qquad (۱۱)$$

رابطه‌ی انشتین (معادله (۱۲)) ارتباط بین ضریب نفوذ و قابلیت تحرک را بیان می‌کند [۱۳-۱۵]:

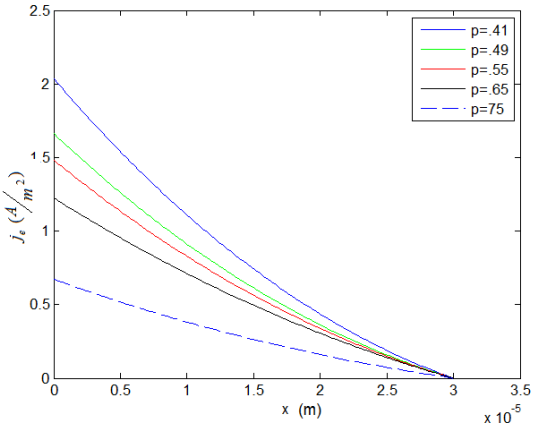
$$D = \frac{KT}{e_0}\mu \qquad (۱۲)$$

۳- بحث و نتایج

شش معادله‌ی دیفرانسیل مرتبه اول جفت شده وجود

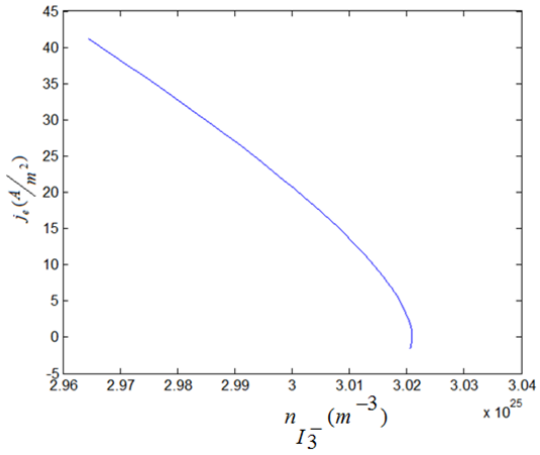
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

دارد که با استفاده از نرم‌افزار متلب با فرض دو نقطه‌ی مرزی ($x=0, x=d$) به حل معادلات پرداخته می‌شود. برنامه و مدل را با نتایج منطقی امتحان کرده و با چندین مقاله مقایسه می‌کنیم که توافق خوبی را نشان می‌دهد [۱۳و ۱۶]. شکل ۱ اثر تخلخل بر روی چگالی جریان الکترون در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مدل شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزایش تخلخل، چگالی جریان الکترون کاهش پیدا می‌کند. این نتیجه با گزارشات دیگر محققان در توافق است [۷و۱۷].

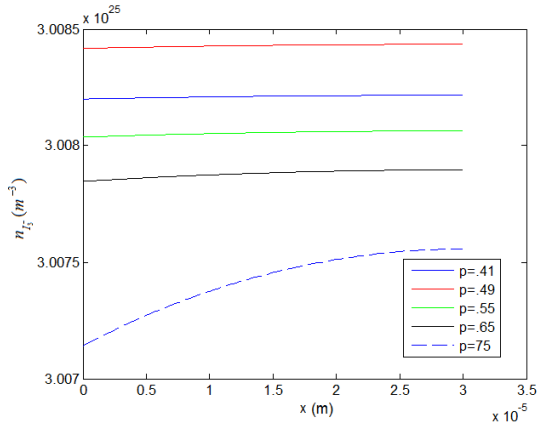


شکل ۱: چگالی جریان الکترون در عرض سلول خورشیدی رنگدانه‌ای مدل شده تحت تخلخل‌های مختلف

دیگر پارامترهای موثر بر کارایی سلول، نفوذ ید یکبار منفی و ید سه بار منفی به درون الکترولیت است. مولکول برانگیخته‌ی رنگدانه با دریافت الکترون از ذرات ید یکبار منفی به حالت زمینه‌اش برمی‌گردد. کاهش ید سه بار منفی منجر به بازتولید ید یکبار منفی در یک مدار کامل می‌شود. با افزایش فرآیند بازترکیب، چگالی جریان الکترون در سلول کاهش پیدا می‌کند [۱۸]. بازترکیب بین الکترون باند رسانش و ذرات ید سه بار منفی با افزایش غلظت ید سه بار منفی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین چگالی جریان الکترون با افزایش غلظت ید سه بار منفی کاهش پیدا می‌کند. این موضوع را می‌توان از منحنی بدست آمده از محاسبات (شکل ۲) مشاهده نمود. طبق نتایج بدست آمده از شکل ۲ به این نتیجه دست پیدا می‌کنیم که برای بهبود کارایی سلول نیاز به کاهش غلظت ید سه بار منفی در عرض سلول می‌باشد. توزیع غلظت ید سه بار منفی در عرض سلول در شکل ۳ ارائه شده است. منحنی نشان می‌دهد که با افزایش تخلخل ید سه بار منفی کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۲: وابستگی چگالی جریان الکترون به توزیع غلظت ید سه بار منفی در سلول خورشیدی مدل شده



شکل ۳: توزیع غلظت ید سه بار منفی سلول خورشیدی مدل شده تحت تخلخل‌های مختلف

۴- نتیجه‌گیری

کار ارائه شده در این مقاله بر تاثیر تخلخل روی چگالی جریان الکترون‌ها در سلول خورشیدی و غلظت ید سه بار منفی در عرض سلول مدل بندی شده متمرکز شد. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که با کاهش ید سه بار منفی، چگالی جریان الکترون‌ها افزایش خواهد یافت. همچنین افزایش تخلخل باعث کاهش ید سه بار منفی و در نهایت منجر به افزایش چگالی جریان الکترون‌ها می شود که کارایی سلول بدین طریق افزایش پیدا می‌کند اما با بررسی رفتار چگالی جریان بر حسب تخلخل مشاهده شد که افزایش تخلخل به طور مستقیم چگالی جریان الکترون‌ها را کاهش خواهد داد. پس همان گونه که به

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]

افزایش تخلخل برای بهبود کارایی سلول نیاز داریم کاهش تخلخل نیز باعث بالا رفتن کارایی سلول خواهد شد. بنابراین برای دست یافتن به کارایی مناسب در سلول یک مقدار متوسط یعنی۰.۵= p برای تخلخل می‌تواند بهترین مقدار باشد.

مراجع

[1] B. O'Regan, M. Gratzel, "*A low cost, high-efficiency solar cell based on dye sensitized colloidal TiO2 films"*, Nature, **353**, 737-740, (1991).

[2] M. Gratzel, *"Photoelectrochemical cells"*, Nature, **414**, 338-344, (2001).

[3] A. Hagfeldt M. Gratzel, *"Light-induced redox reactions in nanocrystalline systems*", Chemicals Reviews, **95**, 49-68, (1995).

[4] M. Gratzel, *"Conversion of sunlight to electric power by nanocrystalline dye-sensitized solar cells"*, Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, **164**, 3-14, (2004).

[5] J. Ferber and J. Luther, "*Modeling of Photovoltage and Photocurrent in Dye-Sensitized Titanium Dioxide Solar Cells*", J. Phys. Chem. B, **105**, 4895-4903, (2001).

[6] A. Hagfeldt, M. Gratzel, *"Light-induced redox reactions in nanocrystalline systems*", Chem. Rev. **95**, 49-68, (1995).

[7] X. Wei-Wei, H. Lin-Hua, D. Song-Yuan, Z. Chang-Neng, L. Xiang-Dong, J. Wei-Ping, *" A study on porosity distribution in nanoporous TiO2 photoelectrodes for output performance of Dye-Sensitized Solar Cells* ", CHIN. PHYS. LETT. Vol. 27, 038202(1)- 038202(4), (2010).

[8] A. Zaban, M. Greenshtein, J. Bisquert,*"Determination of the Electron Lifetime in Nanocrystalline Dye Solar Cells by Photovoltage Decay Measurements*" Chemphyschem, **4**, 859-864, (2003).

[9] J. Bisquert, A. Zaban, M. Greenshtein, I. Mora-Ser, *"Determination of Rate Constants for Charge Transfer and the Distribution of Semiconductor and Electrolyte Electronic Energy Levels in Dye-Sensitized Solar Cells by Open-Circuit Photovoltage Decay Method"* J. Am. Chem. Soc., **126**, 13550-13559, (2004).

[10] J. Bisquert, D. Cahen, G. Hodes, S. Ruhle, A. Zaban, *"Physical chemical principles of photovoltaic conversion with nanoparticulate, mesoporous dye-sensitized solar cells"*, J. Phys. Chem. B , **108**, 8106-8118, (2004).

[11] M. Topic, A. Campa, M. Filipic, M. Berginc, U.O. Krasovec, F. Smole, " *Optical and electrical modelling and characterization of dye-sensitized solar cells"* Current Applied Physics, **10**, 425–430, (2010).

[12] R. Stangl, J. Ferber, J. Luther, "*On the modeling of the dye-sensitized solar cell"*, Solar Energy Materials and Solar Cells, **54**, 255-264, (1998).

[13] J. Ferber, R. Stangl, J. Luther," *An electrical model of the dye-sensitized solar cell*", Sol. Energy Mater. Sol. Cells, **53**, 29-54, (1998).

[14] K.J. Vetter, *Elektrochemische Kinetik*, Springer, Berlin, (1961).

[15] M.A. Green, *Solar cells*, University of New South Wales, (1982).

[16] M.Topic, A. Campa, M. Filipic, M. Berginc, U.O. Krasovec, F. Smole, "*Optical and electrical modelling and characterization of dye-sensitized solar cells*", Current Applied Physics, **10**, 425–430, (2010).

[17] P. H. Joshi, D. P. Korfiatis, S. F. Potamianou, K.-A. Th. Thoma, "*Optimum oxide thickness for dye-sensitized solar cell's effect of porosity and porous size. A numerical approach*", Springer, Ionics, **19**, 571–576, (2013).

[18] M. Berginc, U. Opara Krasovec, M. Hocevar, M. Topic, "*Performance of dye-sensitized solar cells based on Ionic liquids: Effect of temperature and iodine concentration*", Thin Solid Films **516**, 7155–7159, (2008).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-05]