بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
12-14 بهمن 1400

# تاثیر زمان اعمال ضد حلال در روش تک‌مرحله‌ای بر عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی

**بیتا نخعی[1*]، محمود برهانی زرندی[1] و ناصر جهانبخشی زاده[1]**

**[1]دانشگاه یزد، دانشکده فیزیک، بخش اتمی- مولکولی**

**b_nakhaee@yahoo.com**
**mborhani@yazd.ac.ir**
**n_jahanbakhshi@yahoo.com**

**چکیده – در این مقاله به بررسی روش لایه نشانی لایه‌ی پروسکایت به صورت تک مرحله‌ای و استفاده ازضد حلال در زمان‌های مختلف از شروع لایه نشانی پروسکایت و تاثیر آن بر عملکرد سلول‌های خورشیدی پروسکایتی پرداخته شد. بدین منظور آنالیزهای طیف فوتولومینسانس(PL)، جریان-ولتاژ و پراش پرتو X (XRD) مورد استفاده قرار گرفتند. مشاهده شد با ریختن ضد حلال در زمان 20 ثانیه مانده به اتمام لایه‌نشانی، شدت پیک طیف PL لایه پروسکایت کم‌تر، شدت پیک پروسکایت در XRD بزرگ‌تر و در نتیجه بازده سلول خورشیدی ساخته شده بیشتر خواهد بود. با توجه به نتایج بدست آمده حالت بهینه برای ریختن ضد حلال، زمان 20 ثانیه مانده به اتمام لایه‌نشانی نسبت به زمان‌های دیگر بدست آمد،که بازده سلول خورشیدی ساخته شده در این زمان ٪ 5.7 شد.**

کلید واژه- پروسکایت، سلول خورشیدی، ضد حلال، لایه‌نشانی تک‌مرحله‌ای

# The effect of anti-solvent pouring time in one-step method on performance of perovskite solar cell

**Bita Nakhaee[1*], Mahmood Borhani Zarandi[1], Naser Jahanbakhshi Zadeh[1]**
**[1]Department of Physics, Yazd University, P.O. Box 89195-741, Yazd**

**b_nakhaee@yahoo.com**
**mborhani@yazd.ac.ir**
**n_jahanbakhshi@yahoo.com**

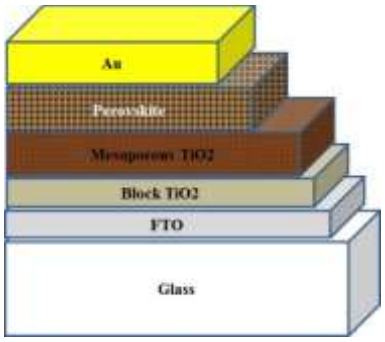
**Abstract- In this paper, the pouring time of anti-solvent in one-step method to perovskite deposition and its effects on the performance of perovskite solar cells was investigated. For this purpose photoluminescence (PL), current-voltage and X-ray diffraction (XRD) analyzes were used. It was observed that in 20s left to complete the deposition, the pouring of anti-solvent lead to the lower peak intensity of the PL spectrum of the perovskite layer, the higher peak intensity of the perovskite in XRD and so the efficiency of the built solar cell will be higher. According to the results, the optimal time for pouring the anti-solvent was 20 seconds remained before the coating was completed compared to other times, and the efficiency of the constructed solar cell at this time was 5.7%.**

Keywords: Anti-solvent, one-step deposition, perovskite, solar cell

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]

## 1- مقدمه

بر اساس گزارش مرکز تحقیقات مشترک اروپا، تا سال 2100، نسبت انرژی های تجدیدپذیر از تقاضای انرژی تا 86 درصد خواهد بود. از جمله منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی است که بیش از 60 درصد از کل تقاضای انرژی را تشکیل می دهد[1]. پروسکایت‌های هالید آلی- معدنی به عنوان یک ماده فتوولتائیک جدید توجهات زیادی را به خود جلب کرده‌اند. بازده سلول‌های خورشیدی پروسکایتی از بازده ٪3.8 در سال 2009 به بیشتر از ٪22 در حال حاضر رسیده است [2]. به منظور تحقق بخشیدن به تجاری سازی این نوع از سلول‌های خورشیدی، تلاش های زیادی در جهت افزایش پایداری و مقیاس ساخت آنها انجام شده است [3]. یکی از مسائل مهم جهت بهبود عملکرد و پایداری این نوع از سلول‌های خورشیدی، بهینه‌سازی ریخت‌شناسی لایه پروسکایت است. خواصی از لایه پروسکایت مانند قدرت جذب نور، طول انتشار حامل‌های بار و بازترکیب آن‌ها مستقیماً به ریخت‌شناسی وابسته هستند [4]. یکی از روش‌های کم هزینه جهت کنترل ریخت‌شناسی لایه پروسکایت، استفاده از ضد حلال حین لایه‌نشانی پروسکایت می‌باشد. ضد حلال می‌تواند سرعت هسته زایی ناهمگن را از طریق استخراج سریع حلال از محلول افزایش دهد [5]. ساختار کلی سلول خورشیدی پروسکایت به‌صورت FTO / لایه متراکم TiO2 / لایه مزوپروس TiO2 / فیلم پروسکایت/ لایه انتقال دهنده حفره و طلا می‌باشد. شکل 1 ساختار شماتیک سلول خورشیدی پروسکایتی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.




شکل 1: طرح شماتیک از سلول خورشیدی پروسکایتی

در این مقاله از پیش ماده $CH_3NH_3PbI_3$ در فرایند تک-مرحله‌ای جهت ساخت لایه پروسکایت استفاده و اثر اعمال ضد حلال لایه پروسکایت در لایه‌نشانی تک‌مرحله‌ای بر عملکرد سلول خورشیدی بررسی گردید.

## 2- روش آزمایش

مواد مورد نیاز و روش ساخت سلول خورشیدی پروسکایتی به شرح زیر می‌باشد.

### 2-1- مواد مورد نیاز

شیشه‌ی لایه‌نشانی شده با اکسید رسانای فلزی(FTO)، اتانول، دی متیل فرم‌آمید، ایزوپروپانول، پودر سرب یدید و پودر متیل آمونیوم یدید (MAI)، کلروبنزن، دی‌متیل-سولفوکساید. این مواد از شرکت‌های ادوات نوری نانوساختاری ایساتیس، شریف سولار و سیگما خریداری شده است. اندازه‌گیری مشخصات فوتوولتائیک سلول خورشیدی نیز توسط دستگاه Keithley2400 صورت گرفته است.

### 2-2- روش ساخت سلول خورشیدی و نتایج

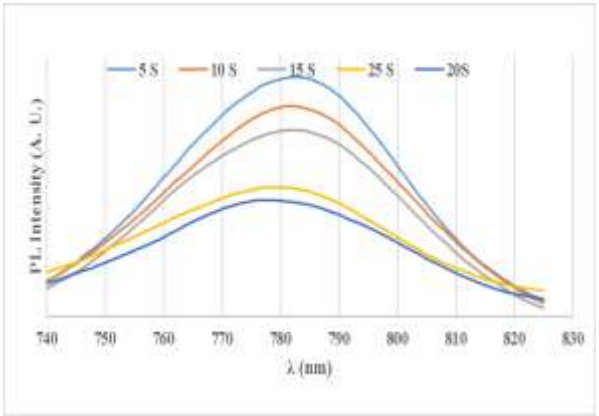
ابتدا قسمتی از لایه‌رسانای FTO بر روی شیشه را به کمک پودر روی و هیدروکلریک‌اسید لایه‌برداری کردیم. سپس مراحل شست و شو به ترتیب با آب و مایع ظرف شویی، آب مقطر، استون، آب مقطر، اتانول و ایزوپروپانول انجام شد و سلول ها به مدت 15 دقیقه در دمای 100 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. لایه سدکننده حفره با استفاده از محلول تیتانیوم ایزوپراکسید در هیدروکلریک‌اسید و اتانول به‌وسیله لایه‌نشانی چرخشی با سرعت 4000 دور بر دقیقه و زمان 60 ثانیه لایه‌نشانی شد. سپس این لایه در دمای 100 درجه سانتی‌گراد به مدت 15 دقیقه خشک و به مدت 60 دقیقه در دمای 500 درجه سانتیگراد پخت داده شد. لایه نانوساختار تیتانیوم- دی‌اکسید که با کمک خمیر تیتانیوم دی اکسید در اتانول تهیه شده بود نیز به‌روش لایه‌نشانی چرخشی با 4000 دور بر دقیقه و زمان 60 ثانیه

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]

لایه‌نشانی و مانند مرحله قبل به مدت 15 دقیقه در دمای 100 درجه سانتی‌گراد خشک و به مدت 60 دقیقه در دمای 500 درجه سانتی‌گراد پخت داده شد.

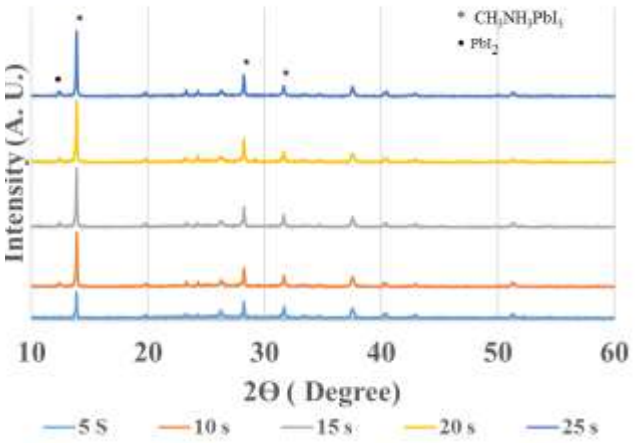
محلول یک مولار سرب‌کلرید در دی‌متیل‌فرمامید و دی-متیل‌سولفوکساید به نسبت 1:9 به روش لایه‌نشانی چرخشی با 4000 دور بر دقیقه و در زمان 30 ثانیه لایه-نشانی شد. در این مرحله در زمان‌های 25، 20، 15، 10 و 5 ثانیه مانده به اتمام لایه نشانی از ضد حلال (کلروبنزن) استفاده شد. در مرحله آخر لایه طلا به ضخامت 60 نانومتر به عنوان الکترود مقابل توسط دستگاه لایه‌نشانی تبخیری، لایه‌نشانی شد.

شکل 2، طیف PL مربوط به لایه پروسکایت در زمان‌های مختلف ریختن ضد حلال را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در زمان 20 ثانیه مانده به اتمام لایه‌نشانی نسبت به زمان‌های دیگر، شدت پیک طیف PL کمتر است. این نشان می‌دهد که احتمال بازترکیب حامل‌های بار کم‌تر و درنتیجه جریان بیشتر و عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی بهتر خواهد بود.



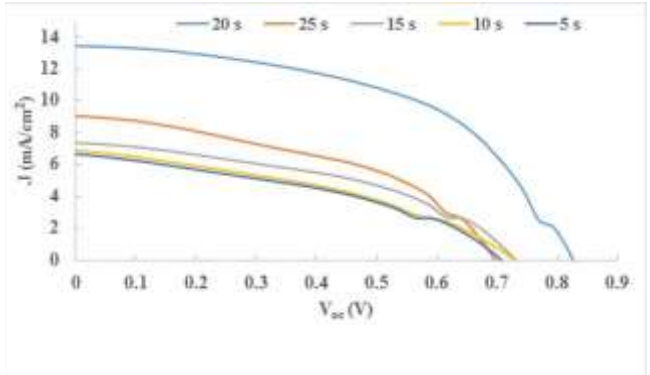

شکل 2: طیف PL لایه پروسکایت ایجاد شده به روش تک مرحله‌ای برای ریختن ضد حلال در زمان‌های (5(s، (10(s، (15(s، (20(s، 25(s) مانده به اتمام لایه نشانی

شکل 3 آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) لایه پروسکایت ایجاد شده به روش تک‌مرحله‌ای برای ریختن ضد حلال در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد. پیک‌های ظاهر شده در زوایای 14/2°، 28/5° و 32/1° به ترتیب مربوط به صفحات (110)، (220) و (310) از بلور پروسکایت هستند [6]. پیک کوچک مشاهده شده در زاویه 12/85° مربوط به صفحه (001) از بلور $PbI_2$ است که بعنوان ناخالصی لایه پروسکایت درنظر گرفته می‌شود. از این دیدگاه شدت پیک پروسکایت ایجاد شده در 5 ثانیه مانده به اتمام لایه‌نشانی نسبت به بقیه زمان‌ها کم‌تر می‌باشد.




شکل 3 : طیف XRD لایه پروسکایت ایجاد شده به روش تک‌مرحله‌ای برای ریختن ضد حلال در زمان‌های (5(s، (10(s، (15(s، (20(s، 25(s) مانده به اتمام لایه نشانی

نمودار جریان-ولتاژ سلول‌های خورشیدی پروسکایتی ساخته شده مربوط به شرایط فوق الذکر در شکل 4 و مشخصات فوتوولتاییکی آنها در جدول (1) نشان داده شده است.




شکل 4: نمودار چگالی جریان ولتاژ مدار برای سلول‌های ساخته شده



[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]

جدول 1: مشخصه های فتوولتائیکی سلول های ساخته شده

| زمان مانده به اتمام لایه نشانی | $J_{SC}$ ($mA/cm^2$) | Voc (V) | FF (%) | Eff (%) |
|---|---|---|---|---|
| 5(s) | 6.65 | 0.71 | 0.4 | 1.87 |
| 10(s) | 6.87 | 0.74 | 0.39 | 1.93 |
| 15(s) | 7.35 | 0.74 | 0.44 | 2.35 |
| 20(s) | 13.42 | 0.84 | 5.01 | 5.70 |
| 25(s) | 9.03 | 0.71 | 0.45 | 2.81 |

با مقایسه نمودار چگالی جریان-ولتاژ و پارامترهای مربوط به مشخصه‌یابی سلول‌های خورشیدی پروسکایتی ساخته شده، مشخص می‌شود که با ریختن ضد حلال در 20 ثانیه مانده به اتمام لایه نشانی، سلول خورشیدی پروسکایتی ساخته شده عملکرد بهتری را از خود نمایش می‌دهد.

## 3- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر زمان اعمال ضد حلال بر خواص الکتریکی و ساختاری لایه پروسکایت مورد بررسی قرار گرفت. با تغییر زمان اعمال ضد حلال، مشخصات لایه پروسکایت ایجاد شده و در نتیجه عملکرد سلول خورشیدی پروسکایتی ساخته شده متفاوت خواهد بود. مشخص شد بهترین زمان برای اعمال ضد حلال، 20 ثانیه مانده به اتمام لایه نشانی است. لایه پروسکایت ایجاد شده در این حالت، دارای بازترکیب کم‌تری از حامل‌های بار (الکترون-حفره) می‌باشد و در نتیجه عملکرد سلول خورشیدی بهتر خواهد بود. بازدهی سلول خورشیدی بهینه سازی شده 5.7٪ بدست آمد.

## سپاسگزاری

از همکاری اعضای محترم گروه پژوهشی فوتونیک دانشگاه یزد که در انجام این آزمایشات به ما یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

## مرجع‌ها

**[1]** Joint Research Centre: Available at: http://eC.europA.eu/jrc/eN, accessed March 15, 2018.

**[2]** A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, and T. Miyasaka: "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells", J. Am. Chem. Soc, Vol. 131, pp. 6050–6051, 2009.

**[3]** M.M. Tavakoli, R. Tavakoli, Z. Nourbakhsh, A. Waleed, U. S. Virk, and Z. Fan: "High efficiency and stable perovskite solar cell using ZnO/rGO QDs as an electron transfer layer", Adv. Mater. Interfaces,Vol. 3, pp. 1500790, 2016.

**[4]** Y. Wang, D. Liu, P. Zhang, T. Zhang, W. Ahmad, X. Ying, F. Wang, J. Li, L. Chen, and J. Wu: "Reveal the growth mechanism in perovskite films via weakly coordinating solvent annealing", Sci. China Mater., Vol. 61, pp. 1536–1548, 2018.

**[5]** Y. Wang, S. Li, P. Zhang, D. Liu, X. Gu, H. Sarvari, Z. Ye, J. Wu, Z. Wang, and Z.D. Chen: "Solvent annealing of PbI2 for the highquality crystallization of perovskite films for solar cells with efficiencies exceeding 18%", Nanoscale, Vol. 8, pp.19654–19661, 2016.

**[6]** N. Jahanbakhshi Zadeha, M. Borhani Zarandi, M.R. Nateghi, "Effect of crystallization strategies on CH3NH3PbI3 perovskite layer deposited by spin coating method: Dependence of photovoltaic performance on morphology evolution", thin solid films, Vol. 660, pp. 65-74, 2018.

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-11-06 ]