

مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو • گزارش شماره ۵۲

# کاربرد فناوری نانو در بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی

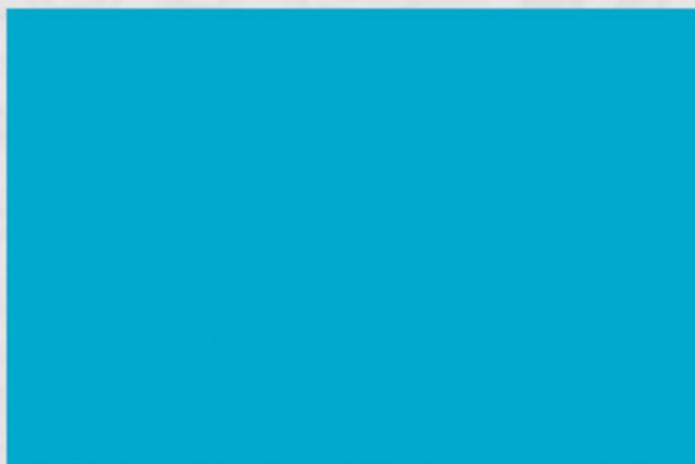
سال انتشار: ۱۳۹۴

ویرایش نخست

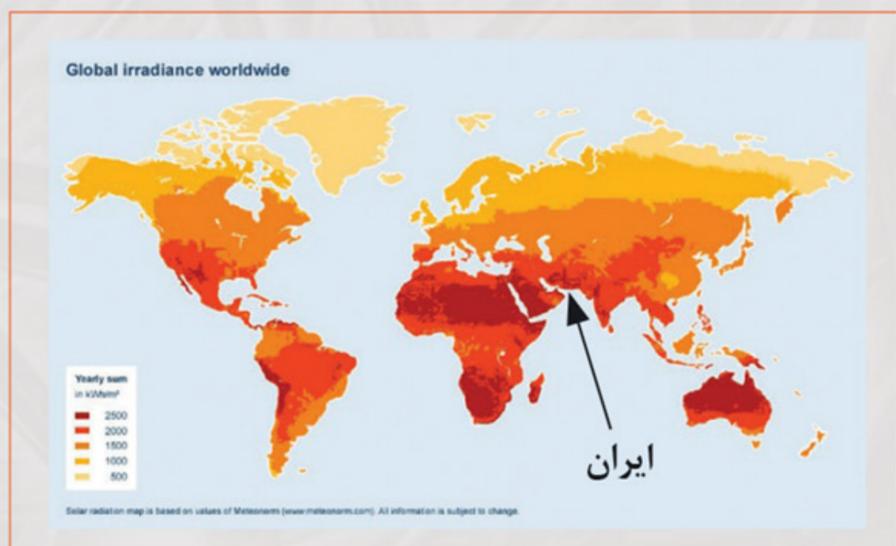


## مقدمه

انرژی خورشیدی وسیع‌ترین منبع انرژی در جهان است. انرژی که از جانب خورشید در هر ساعت به زمین می‌تابد، بیش از کل انرژی است که ساکنان زمین در طول یک سال مصرف می‌کنند. برای بهره‌گیری از این منبع باید راهی جست تا انرژی پراکنده آن باران‌مان بالا و هزینه کم به انرژی قابل مصرف الکتریکی تبدیل شود. با توجه به محدودیت منابع سوخت فسیلی و زیانبار بودن استفاده غیر اصولی اینگونه سوخت‌ها برای سلامت محیط زیست، تحقیقات و کاربردهای انرژی‌های تجدیدپذیر در مجامع صنعتی و علمی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گشته است. در این میان انرژی خورشید، با توجه به اینکه انرژی کاملاً پاک و عاری از هرگونه آلودگی بوده و بعنوان منبع انرژی کاملاً ارزان شناخته شده است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. (شکل ۱)

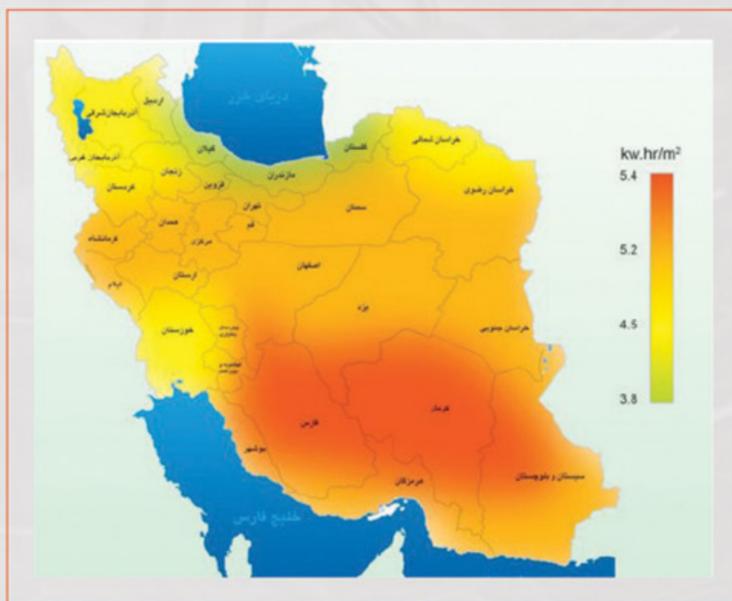


شکل ۱. میزان تابش جهانی



کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است. در ایران به طور متوسط سالانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است.

بر اساس اطلاعات مندرج در روزنامه دنیای اقتصاد، شماره ۳۰۴۰ [۱۷]، هزینه احداث ۱۶۰۰ مگاوات نیروگاه سیکل

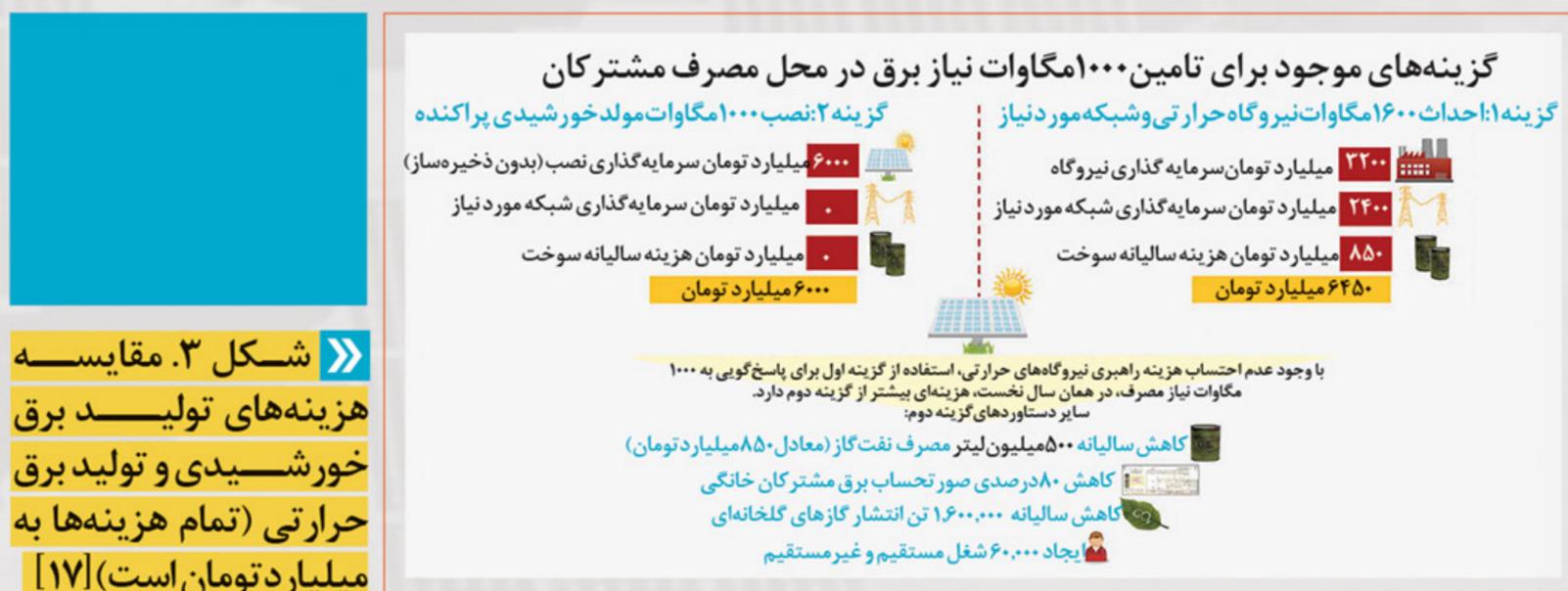


شکل ۲. میزان تابش خورشید در ایران

ترکیبی و شبکه مورد نیاز آن بالغ بر ۶۴۵۰ میلیارد تومان خواهد شد که سالانه ۸۵۰ میلیارد تومان آن متعلق به هزینه سوخت بدون احتساب هزینه راهبری می‌باشد. در صورتی که هزینه احداث نیروگاه خورشیدی با همان توان، ۶۰۰۰ میلیارد تومان می‌باشد. مقایسه دو عدد ۶۰۰۰ و ۶۴۵۰ میلیارد تومانی، حاکی از آن است که از نظر اقتصاد ملی، مولد خورشیدی در همان سال نخست، ارزان‌تر از نیروگاه حرارتی متمرکز است (شکل ۳).

فناوری نانو حوزه‌ای میان رشته‌ای از علوم، مهندسی و فناوری است که در مقیاس نانو، یعنی از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر شکل می‌گیرد. موضوع اصلی فناوری نانو مهار ماده یا دستگاه‌های در ابعاد نانومتری است که می‌توانند در این ابعاد خواص

جدیدی را از خود نشان دهند. به همین دلیل، کاربردهای فناوری نانو در حوزه‌های گسترده‌ای چون فیزیک، شیمی، بیولوژی، علم مواد و مهندسی به اثبات رسیده است. نخستین بار «ریچارد فاینمن»، فیزیکدان برنده‌ی جایزه‌ی نوبل و پدر فناوری نانو، در سال ۱۹۵۹ در سخنانی در دانشگاه CalTech ایده فناوری نانو را مطرح کرد. بعدها و با پیشرفت تحقیقات در این زمینه، واژه‌ی «فناوری نانو» رایج گردید. امروزه، فناوری نانو به عنوان موج چهارم انقلاب صنعتی، پدیده‌ای عظیم است که در تمامی گرایش‌های علمی راه یافته و از فناوری‌های نوینی است که با سرعت هرچه تمام‌تر در حال توسعه می‌باشد. فناوری نانو یک دانش کاملاً میان‌رشته‌ای است که کاربردهای آن، به حوزه‌های مختلفی چون مهندسی مواد، پزشکی، داروسازی و طراحی دارو، دامپزشکی، زیست‌شناسی، فیزیک کاربردی، ابزارهای نیم‌رسانا، شیمی ابرمولکول، انرژی و نیز رشته‌های مهندسی همانند مهندسی مکانیک، مهندسی برق، مهندسی شیمی، مهندسی عمران و مهندسی نساجی راه یافته است.



## موانع موجود در فراگیر شدن سلول‌های خورشیدی

به طور کلی می‌توان گفت که دو مشکل عمده در به کارگیری سلول‌های خورشیدی وجود دارد. نخست، هزینه‌ی به نسبت بالای این سلول‌ها در مقایسه با توان تولیدی آن‌ها است. این امر، به نوعی مهم‌ترین چالش در راه فراگیر شدن سلول‌های خورشیدی است، چرا که ضریب نفوذ این فناوری را کم نموده و از میزان رقابت‌پذیری آن در مقابل سایر روش‌های تامین توان می‌کاهد. مسئله‌ی دوم، بازده تبدیل انرژی این سلول‌ها می‌باشد. این سلول‌ها در مقایسه با سایر روش‌های تبدیل انرژی متعارف، بازدهی چندان بالایی نداشته و در نتیجه به نوعی دچار مشکل هستند.

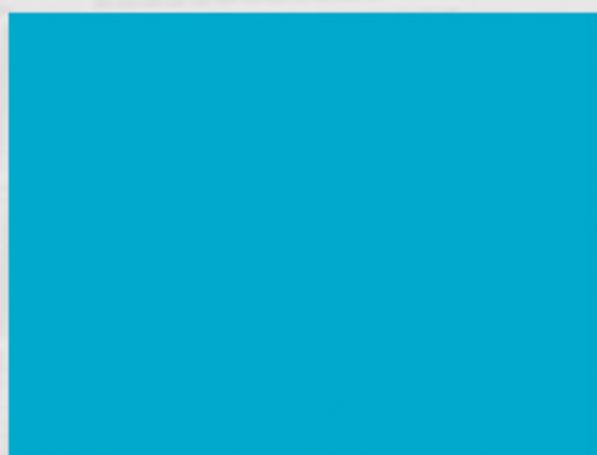
### ■ هزینه‌ی بالای ساخت در مقایسه با توان تولیدی

به طور قطع می‌توان گفت که مهم‌ترین مشکل موجود در صنعت سلول‌های خورشیدی میزان هزینه‌ی بالای ساخت و نصب آنها به ازای میزان توان تولیدی است. فناوری ساخت سلول‌های خورشیدی در دسته‌ی فناوری‌های بالا قرار دارد که نیازمند هزینه‌ی فراوانی است. به علاوه، با توجه به بازدهی نه چندان بالای سلول‌های رایج در بازار، قیمت تمام‌شده نصب این سلول‌ها به نسبت توان تولیدی آن‌ها افزایش می‌یابد. با این وجود، با توجه به پیشرفت فناوری در طول سال‌های مختلف، هزینه‌ی تمام‌شده توان تولید شده توسط سلول‌های خورشیدی به طور چشمگیری کاهش یافته است. به طوری که هزینه‌ی سلول‌های خورشیدی در سال ۱۹۸۰ در حدود 30\$/W بوده است، در حالی که این مقدار در سال‌های کنونی نزدیک به ۱۰ برابر کاهش پیدا کرده است. طبق گزارش دپارتمان انرژی آمریکا (DOE) در

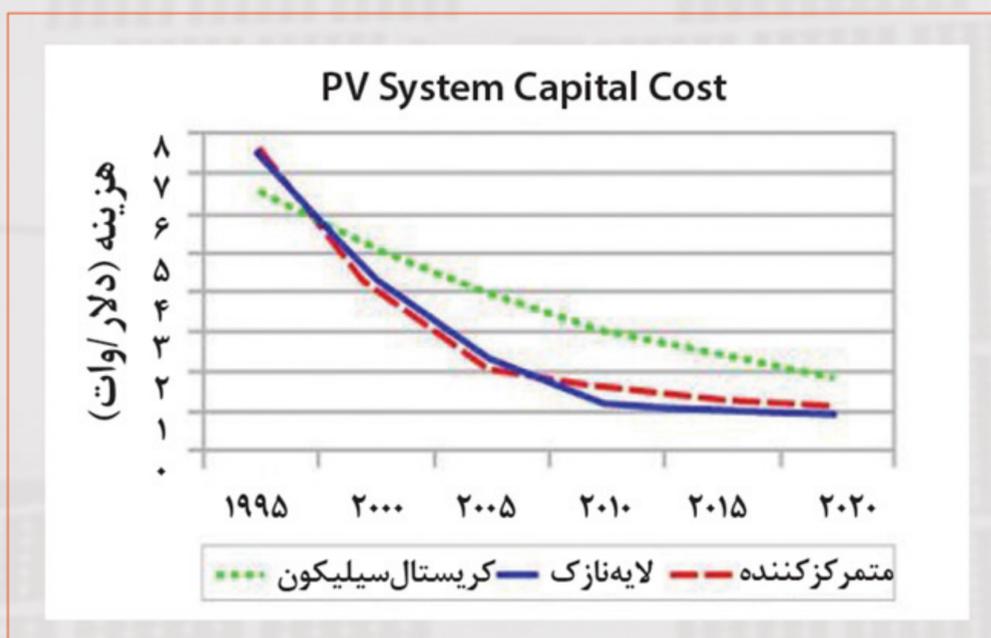
سال ۲۰۱۳، هزینه‌ی نصب شده برای سلول‌های خورشیدی به شرح جدول ۱ است. شکل ۴، روند کاهش قیمت این سلول‌ها را در طول سال‌های گذشته و برای سه نوع مختلف سلول‌های خورشیدی نشان می‌دهد.

جدول ۱. هزینه‌های گزارش شده برای نصب سیستم‌های فتوولتائیک در ایالات متحده

ردیف	نوع کاربری	محدوده توان	متوسط هزینه نصب
۱	مسکونی و تجاری کوچک	$\leq 10 \text{ kW}$	4.69 \$/W
۲	تجاری بزرگ	$>100 \text{ kW}$	3.89 \$/W
۳	مقیاس بزرگ	$\geq 5 \text{ MW}$	3.00 \$/W



شکل ۴. سیر نزولی قیمت تمام شده‌ی سلول‌های خورشیدی و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۲۰ [۱۸]



همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۲۰ میزان هزینه‌ی سلول‌های خورشیدی ۱ \$/W برسد.

### بازده پایین سلول‌های خورشیدی

یکی از مشکلات گونه‌های مختلف سلول‌های خورشیدی بازده تبدیل انرژی به نسبت پایین آن‌ها است. به طوری که این مقدار در سلول‌های سیلیکونی (که رایج‌ترین نوع سلول‌های خورشیدی هستند) در محدوده‌ی ۲۰-۳۰٪ قرار می‌گیرد. این مقدار در بهترین شرایط ممکن، یعنی تابش کامل  $1000 \text{ W/m}^2$  و بدون در نظر گرفتن آلودگی‌های محیطی و شرایط آب و هوایی محل تابش، اندازه‌گیری شده است و بنابراین، در شرایط واقعی مقدار کمتری را دارا خواهد بود. این در شرایطی است که عوامل دیگری نظیر افزایش دمای سلول، شرایط محیطی نظیر هوای ابری و غیره می‌تواند اثر منفی در این میزان بازده داشته باشد. بنابراین رویه‌ی روز دنیا به سمت و سوی افزایش هرچه بیشتر بازده سلول‌های خورشیدی است.

### روش‌های بهبود کارایی سلول‌های خورشیدی چیست؟

با توجه به مطالب مطرح شده در بخش پیشین، به طور کلی می‌توان گفت که بهبود کارایی و افزایش ضریب

نفوذ فناوری سلول‌های خورشیدی در جامعه در دو راهبرد خلاصه می‌شود: «کاهش قیمت تمام‌شده‌ی سیستم‌های خورشیدی به ازای توان تولیدی» و «افزایش بازده تبدیل انرژی در سلول‌های خورشیدی». به همین ترتیب، می‌توان گفت که هزینه به ازای هر وات توان تولیدی به طور مستقیم با میزان هزینه کلی سیستم نصب شده و به طور معکوس با بازده سیستم رابطه دارد (رابطه‌ی ۱).

$$(۱) \quad [(\%)/\text{بازده سیستم} / (\$) \text{ هزینه کلی سیستم شده}] \propto (\$/W)$$

بنابراین در راستای اقتصادی شدن سیستم سلول‌های خورشیدی، تمام راهبرد به سمت کاهش هزینه کل سیستم و افزایش بازده سلول‌ها متمایل خواهد بود. لازم به ذکر است که افزایش بازدهی و کاهش هزینه به نوعی با یکدیگر در ارتباط هستند. به طوری که افزایش بازده به واسطه‌ی بهبود فناوری احتمالاً باعث افزایش هزینه نیز خواهد شد و بالعکس. از سوی دیگر، اما، بازده بالاتر باعث کاهش هزینه در سایر هزینه‌های سلول‌های خورشیدی از قبیل هزینه‌های مربوط به قطعات الکترونیک قدرت و غیره می‌گردد. بنابراین این امر نیازمند دست‌یابی به یک نقطه‌ی تعادل بهینه می‌باشد.

### ■ راهکارهای کاهش هزینه

یکی از روش‌های کاهش هزینه در سلول‌های خورشیدی کاهش هزینه در مواد مصرفی در ماژول خورشیدی است. ماده نیمه‌هادی یک ماده پیچیده و گران‌قیمت بوده و بخش اعظمی از هزینه‌های ماژول را در بر می‌گیرد (حدود ۶۰٪ در ماژول کریستال سیلیکون و ۸-۲۰٪ در ماژول‌های CdTe و CIGS). هزینه‌ی پلی‌سیلیکون برای ماژول‌های کریستال سیلیکون می‌تواند با اعمالی نظیر موارد زیر کاهش یابد: ساخت و یفرهای نازک‌تر، کمینه کردن اتلاف‌های پلی‌سیلیکون در خلال فرایند و یفرسازی، بهبود بازیافت ضایعات پلی‌سیلیکون، و معرفی روش‌های کم‌هزینه‌تر خالص‌سازی مواد اولیه پلی‌سیلیکون. جایگزینی روش کریستال سیلیکون با فناوری‌های لایه‌نازک و CPV<sup>۲</sup> یک روش کارآمد دیگر برای کاهش هزینه است. اما از سوی دیگر، اگرچه مواد نیمه‌هادی به کار رفته در لایه‌نازک و CPV کمتر از کریستال سیلیکون است، اما این مواد کم‌یاب و گران‌قیمت می‌باشد. بنابراین، تحقیقات برای استفاده بهینه از مواد کم‌هزینه‌تر و فراوان‌تر در این فناوری‌ها می‌تواند کاهش دهنده هزینه‌ها باشد.

### ■ راهکارهای افزایش بازده

افزایش بازده ماژول، راهکاری دیگر برای کاهش هزینه بر وات سلول‌های خورشیدی است. تا کنون بهبودهای خوبی در بازده نسل‌های مختلف سلول‌های خورشیدی حاصل شده است. اما راه زیادی برای بهبود بازده در سلول‌های خورشیدی باقی مانده است و این امر مستلزم پیشرفت در فعالیت‌های تحقیق و توسعه در مراکز تحقیقاتی می‌باشد. برای انواع مختلف سلول خورشیدی بازده‌های تئوری، آزمایشگاهی و عملی به دست آمده است و تمام تلاش بر این است تا شکاف میان این مقادیر بازده کاهش یابد.

یکی از مباحث مهم در بهبود بازده سلول‌های خورشیدی بهبود مواد به کار رفته در این سلول‌ها است. به عنوان مثال، تلاش‌های فراوانی در جهت استفاده از موادی فراوان، غیرسمی و با فرایند فراوری ساده برای سلول‌های لایه‌نازک صورت گرفته است. از سوی دیگر، فراتر از بحث مواد مصرفی، طرح‌های مفهومی نوینی برای سلول‌های خورشیدی ارائه شده است که می‌تواند منجر به کاهش هزینه و حتی افزایش بازدهی گردد. سلول‌های ارگانیک، نانو ساختار و رنگ‌دانه‌ای از این دسته هستند، که در فازهای اولیه‌ی توسعه تجاری به سر می‌برند. این فناوری‌ها ارائه‌دهنده‌ی هزینه‌های

پایین تر برای ماژول‌ها به واسطه‌ی استفاده از مواد ارزان‌تر و با فراوری ساده‌تر هستند. اگرچه لازم به ذکر است که چالش‌هایی نیز در دست‌یابی به بازده‌های بالا و نیز قابلیت اطمینان بلندمدت در این فناوری‌ها وجود داشته است.

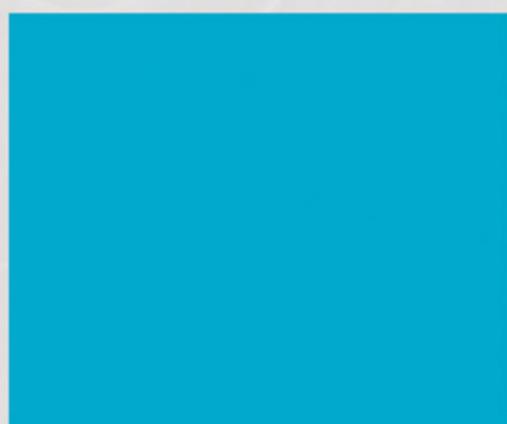
### راهکارهای فناوری نانو در بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی

فناوری نانو به طرق گوناگون بر عملکرد سلول‌های خورشیدی تاثیر مثبت گذارده است. با استفاده از فناوری نانو می‌توان به طرق مختلف حاملین بار را در سلول‌های خورشیدی افزایش داد، نور بیشتری جذب کرد و یا به روشی خاص باعث بهبود کارایی سلول شد. در ادامه به اختصار برخی از این موارد معرفی می‌گردد.

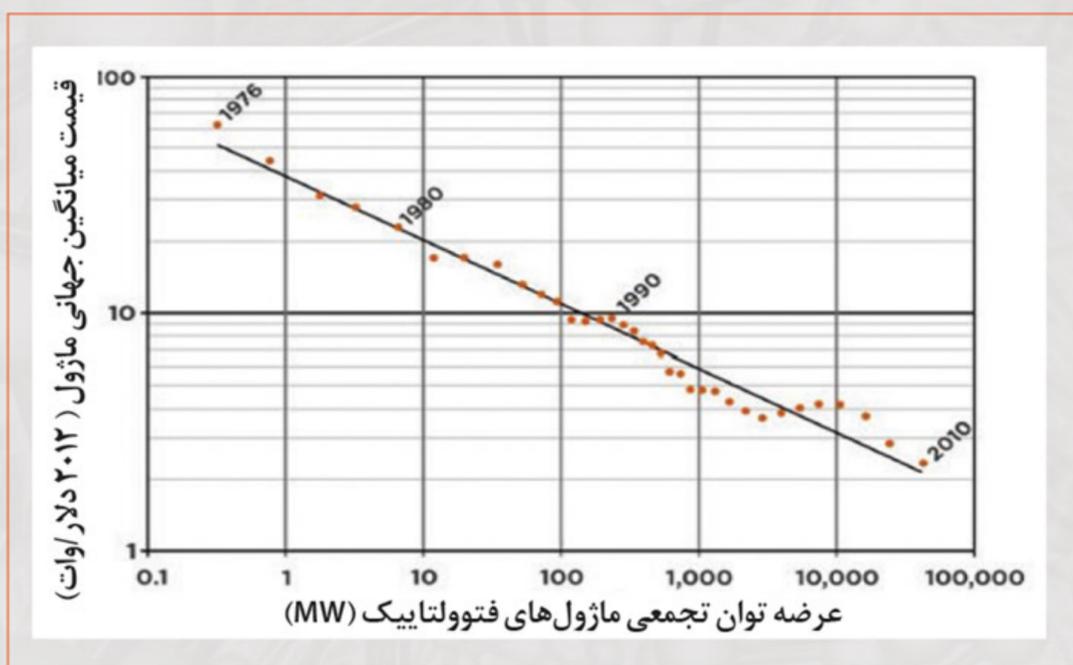
#### ■ سلول‌های خورشیدی نانوبلوری

از جمله فناوری‌های سلول‌های خورشیدی نانوبلوری می‌توان به سلول‌های حساس شده به رنگزا و سلول‌های حساس شده به نقاط کوانتومی اشاره کرد. این فناوری‌ها، علاوه بر این که روشی برای بهبود سلول‌های خورشیدی متداول نظیر سلول‌های سیلیکونی است، با ارائه‌ی مفاهیمی نوین از جذب انرژی خورشیدی، ارائه دهنده‌ی نسل جدیدی از فناوری سلول‌های خورشیدی می‌باشند. در واقع پس از نسل‌های اول و دوم سلول خورشیدی، این فناوری‌های مبتنی بر فناوری نانو تشکیل دهنده نسل سوم سلول‌های خورشیدی هستند.

سلول‌های خورشیدی حساس شده به رنگزا<sup>۳</sup> (DSSC) نسبت به سلول‌های خورشیدی بر پایه سیلیکون هزینه کمتری دارند. نانوذرات تیتانیوم دی‌اکسید به عنوان حاملین بار در این نوع سلول عمل می‌کنند. بهترین بازده تبدیل انرژی به دست آمده برای سلول‌های خورشیدی DSSC حدود ۱۱٪ می‌باشد. اگرچه این مقدار در مقایسه با سلول‌های سیلیکونی رایج کمتر است، اما با توجه به هزینه بسیار پایین‌تر تولید این سلول‌ها و نیز پتانسیل بسیار قابل توجه در توسعه آنها می‌توان نظر بسیار مثبتی روی آنها داشت.



» شکل ۵. روند کاهش قیمت کارخانه‌ای ماژول‌های خورشیدی به ازای افزایش ظرفیت تولید ماژول‌ها ناشی از کاهش هزینه‌ی ساخت [۱۰]



همچنین، سلول‌های خورشیدی حساس شده به نقاط کوانتومی<sup>۴</sup> (QD) امکان ساخت تجهیزات فتوولتاییک با بازدهی بالا و هزینه کم را ممکن می‌سازد. تمان میان نسل سه ماژول‌های خورشیدی (که DSSC‌ها و QD‌ها در این دسته‌اند)



می‌باشد. در حال حاضر شرکت‌های فراوانی در این حوزه در کشور در حال فعالیت می‌باشند (در مقیاس صنعتی و یا آزمایشگاهی) که هر ساله بر تعداد آن‌ها افزوده می‌شود. این شرکت‌ها در حوزه‌های مختلفی از علوم و فناوری مشغول فعالیت هستند. با وجود پیشرفت‌ها و فعالیت‌های شایان توجه در حوزه‌هایی نظیر تجهیزات و بهداشت و سلامت، متأسفانه در حوزه انرژی (در اینجا سلول‌های خورشیدی) فعالیتی در مقیاس صنعتی مشاهده نشده است. اگرچه، کارهای تحقیقاتی متعددی در قالب ثبت اختراع به ثبت رسیده است که در صورت حمایت و سرمایه‌گذاری، قابلیت صنعتی شدن را دارا خواهد بود. جدول ۲ نمونه‌هایی از ثبت اختراع در حوزه سلول‌های خورشیدی را ارائه داده است.

### جدول ۲. برخی از اختراعات ثبت شده در حوزه کاربرد فناوری نانو در سلول‌های خورشیدی

عنوان	شماره ثبت	مالک/مالکان
فرآیند بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی با استفاده از نانوذرات منگنز تیتانات	۶۸۷۲۸	کیوان اوضاعی و مهسا براتی
ساخت سلول خورشیدی حساس شده به رنگدانه با استفاده از الکتروود زیرین نانولوله‌های کربنی	۷۴۴۹۶	آرمان صدقی و هدی نورمحمدی میانکوشکی
تولید نانو ساختار cuinse2 با استفاده از اتیل دی آمین به عنوان حلال با مورفولوژی مختلف (مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی)	۶۷۹۱۷	مریم نجفی و سید خطیب‌الاسلام صدرنژاد و محمدرضا واعظی جزه
طراحی و ساخت سلول‌های خورشیدی جزیی حساس شده نقاط کوانتومی CdS و CdSe با بکارگیری لایه‌ای از آرایه‌های نانوذرات $\text{BiFeO}_3$ و $\text{Bi}_{0.86}\text{Sm}_{0.07}\text{Cd}_{0.07}\text{FeO}_3$	۷۷۲۶۱	رضا تقی‌زاده و الهام پاک‌نهاد

### فناوری نانو و سلول‌های خورشیدی: دنیا

در سطح جهانی، فعالیت‌های مختلفی در راستای بهره‌گیری از فناوری نانو جهت بهبود عملکرد سلول‌های خورشیدی صورت گرفته است. تعدادی از این دستاوردها هنوز در فاز تحقیقاتی و مقیاس آزمایشگاهی بوده، اگرچه برخی نیز با پشتیبانی واحدهای سرمایه‌گذار وارد چرخه صنعت و تولید انبوه شده است.

از جمله کمپانی‌های پیشرو در این زمینه می‌توان به مواردی نظیر *nanosolar*، *PowerFilm*، *Dyesol* و *Sol voltaic* اشاره کرد. همچنین کار تحقیقاتی در این زمینه بر دوش موسسات علمی، مراکز تحقیقاتی و دانشگاه‌ها است. به عنوان مثال دانشگاه‌های بسیاری در ایالات متحده پیرامون موضوع سلول‌های خورشیدی به تحقیقات می‌پردازند. از این جمله می‌توان مواردی چون *Georgetown University*، *Carnegie Mellon University*، *Drexel University* و *University of Illinois at Urbana-Champaign* و *University of Maryland* را نام برد.

## پی‌نوشت‌ها

- ۱ به مجموعه‌ای از چندین تک سلول خورشیدی که به صورت سری در کنار یکدیگر قرار گرفته اند، ماژول گفته می‌شود.
- ۲ نوعی سلول خورشیدی است که برای بالا بردن جذب نور، نور بر سطح سلول خورشیدی متمرکز می‌شود.
- ۳ Dye Sensitized Solar Cell (DSSC)
- ۴ Quantum Dot Solar Cell (QD)

## مراجع

- ۱ Zang, Ling, ed. Energy Efficiency and Renewable Energy Through Nanotechnology. Berlin: Springer, 2011.
- ۲ Wolf, Edward L. Nanophysics of solar and renewable energy. John Wiley & Sons, 2012.
- ۳ Archer, Mary D., and Arthur J. Nozik. Nanostructured and photoelectrochemical systems for solar photon conversion. World Scientific, 2008.
- ۴ Abdin, Z., et al. "Solar energy harvesting with the application of nanotechnology." Renewable and Sustainable Energy Reviews 26 (2013): 837-852.
- ۵ Green, Martin A., et al. "Solar cell efficiency tables (Version 45)." Progress in photovoltaics: research and applications 23.1 (2015): 1-9.
- ۶ "Nanotechnology for Energy Applications", Nano Connect Scandinavia, www.nano-connect.org/downloads
- ۷ Hussein, Ahmed Kadhim. "Applications of nanotechnology in renewable energies—A comprehensive overview and understanding." Renewable and Sustainable Energy Reviews 42 (2015): 460-476.
- ۸ Kasaeian, Alibakhsh, Amin ToghiEshghi, and Mohammad Sameti. "A review on the applications of nanofluids in solar energy systems." Renewable and Sustainable Energy Reviews 43 (2015): 584-598.
- ۹ Feldman, David, et al. "Photovoltaic System Pricing Trends: Historical, Recent, and Near-Term Projections—2013 Edition." Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, PR-6A20-60207. Accessed December 9 (2013): 2013.
- ۱۰ SunShot, Energy Efficiency. US Department of Energy, 2012. SunShot Vision Study: February 2012. NREL Report No. BK5200-47927. DOE/GO-102012-3037.

۱۱ «نسل‌های مختلف سلول‌های خورشیدی و روش‌های بهبود بازدهی»، شیما موسی‌خانی و همکاران، نشریه علمی-ترویجی مطالعات در دنیای رنگ، ۲ (۱۳۹۲)، صص ۳-۸.

۱۲ «محصولات فناوری نانو ساخت ایران»، ستاد ویژه توسعه فناوری نانو ریاست جمهوری، ویرایش اول، پاییز ۱۳۹۳.

- ۱۳ [http://en.wikipedia.org/wiki/Energy\\_applications\\_of\\_nanotechnology](http://en.wikipedia.org/wiki/Energy_applications_of_nanotechnology)
- ۱۴ <http://www.understandingnano.com/solarcells.html>
- ۱۵ <http://www.clean-energy-ideas.com/solar/solar-energy/pros-and-cons-of-solar-energy>
- ۱۶ <http://www.nano.ir>

۱۷ روزنامه دنیای اقتصاد، شماره ۳۰۴۰، ۱۳۹۲/۰۷/۲۱

۱۸ <http://photovoltaicell.com/average-cost-of-photovoltaic-system/>

## مجموعه نرم‌افزارهای «نانو و صنعت»

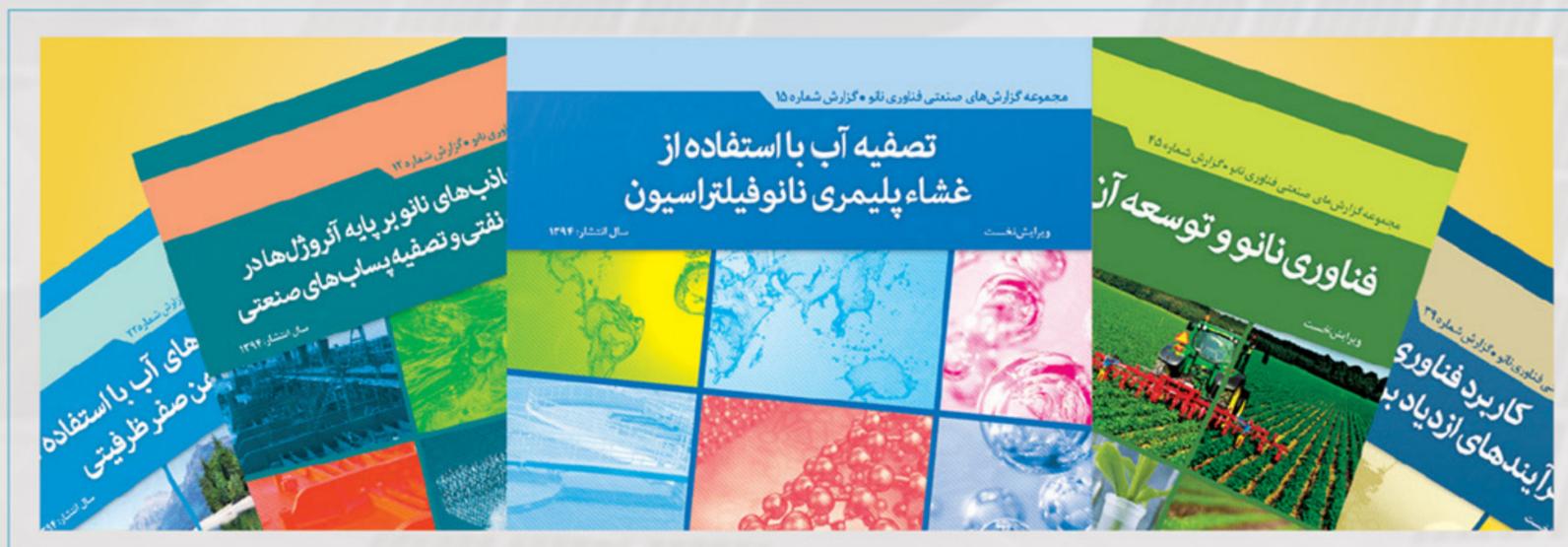


مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با هدف معرفی کاربردهای فناوری نانو در بخش‌ها و صنایع مختلف طراحی و منتشر شده است. در این نرم‌افزار اطلاعاتی مفید و کاربردی در قالب فیلم مستند، مقاله، کتاب الکترونیکی و مصاحبه با کارشناسان، در اختیار فعالان صنعتی کشور و علاقمندان به فناوری نانو قرار داده شده است.

تاکنون شش عنوان از مجموعه نرم‌افزارهای نانو و صنعت با موضوع کاربردهای فناوری نانو در صنایع «نفت»، «خودرو»، «نساجی»، «ساخت و ساز»، «بهداشت و سلامت» و «کشاورزی»، ارائه شده است.

مرکز پخش: ۶۶۸۷۱۲۵۹ - [www.nanosun.ir](http://www.nanosun.ir)

## از مجموعه گزارش‌های صنعتی فناوری نانو منتشر شده است



- کاربرد فناوری نانو در تصفیه هوا
- کاربرد فناوری نانو در بتن‌های سبک
- کاربرد فناوری نانو در بتن
- نانولیپوزوم‌ها و نقش آنها در رهایش دارو
- کاربرد فناوری نانو در محیط‌های بیمارستانی
- کاربرد فناوری نانو در حسگرهای ساختمانی
- کاربرد فناوری نانو در عایق‌های رطوبت
- کاربرد فناوری نانو در لوله‌های بی‌صدای فاضلاب
- حذف آلاینده‌های آب با استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی
- کاربرد فناوری نانو در صنعت ساختمان
- استفاده از غشاء نانولوله کربنی جهت نمک‌زدایی و تصفیه آب
- کاربرد فناوری نانو در کاشی و سرامیک
- غنی‌سازی محصولات کشاورزی با نانو کودهای کلاته آهن و روی
- کاربرد فناوری نانو در فرآیندهای ازدیاد برداشت نفت خام
- خشک کردن انجمادی پاششی
- فناوری نانو و بتن‌های ویژه
- کاربرد فناوری نانو در آنالیزگرهای جدید صنایع بالادستی نفت
- کاربردهای فناوری نانو در بخش انتقال شبکه برق‌رسانی
- فناوری نانو و توسعه آن در کشاورزی
- نقش فناوری نانو در ارتقای کیفی سیمان و مصالح پایه سیمانی
- روش تغییر شکل پلاستیک شدید (SPD) در تولید فلزات نانو ساختار
- آلیاژسازی و فعال‌سازی مکانیکی، فناوری تهیه نانومواد
- منسوجات ضد میکروب
- کاربرد فناوری نانو در سازه‌های بتنی هوشمند با قابلیت خود ترمیم‌شوندگی
- لوله‌های حرارتی و کاربردهای آن در انتقال انرژی حرارتی

### ستاد ویژه توسعه فناوری نانو

تلفن: ۰۲۱-۶۳۱۰۰

نمابر: ۰۲۱-۶۳۱۰۶۳۱۰

پایگاه اینترنتی: [www.nano.ir](http://www.nano.ir)

پست الکترونیک: [setad@nano.ir](mailto:setad@nano.ir)

[report@nano.ir](mailto:report@nano.ir)

صندوق پستی: ۱۴۵۶۵-۳۴۴

طراحی و اجرا: توسعه فناوری مهر ویژن

نظارت: داود قرایلو

تهیه‌کنندگان: رقیه قاسم‌پور،

محمد حسن قدوسی‌نژاد