

کاربرد نانوفناوری در تولید و بهینه‌سازی پیل‌های خورشیدی

ابوالفضل شکوری^۱، سید غلامرضا اعتماد^{۱*}، تورج توکلی^۲

۱- دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی شیمی

۲- دانشگاه اصفهان، گروه مهندسی شیمی

پست الکترونیکی: etemad@cc.iut.ac.ir

چکیده

این تحقیق، گزارشی است از وضعیت کنونی انرژی‌های خورشیدی در دنیا و راه‌کارهایی که نانوفناوری در این عرصه جهت افزایش راندمان ایجاد کرده است. به سبب افزایش قیمت و بی‌ثباتی بازار سوخت‌های فسیلی هم‌اکنون تحقیقات وسیعی در دنیا بر روی انرژی‌های جایگزین در حال انجام است. انرژی خورشیدی یکی از این منابع جایگزین است که در بسیاری از نقاط دنیا قابل حصول است، بنابراین همیشه مورد بررسی و تحقیق پژوهشگران بوده است. مشکلاتی که در راه استفاده از این انرژی وجود دارد عبارتند از: راندمان پایین پیل‌های خورشیدی و هزینه بالای تولید آنها. تحقیقات اخیر نشان داده است که استفاده از نانوذرات در تولید پیل‌های خورشیدی قادر به بهبود این وضعیت است. این گزارش به فعالیت‌های اساسی در زمینه کاربرد نانوفناوری در تولید و بهینه‌سازی پیل‌های خورشیدی پرداخته است.

کلمات کلیدی: انرژی تجدیدپذیر، نانوفناوری، پیل خورشیدی، نانو ذره

۱- مقدمه

جانبی و خطرات زیست محیطی را کاهش دهد. می‌توان گفت در همین راستا، نتیجه نهایی تعامل اثرات فناوری نانو با فناوری‌های دیگر به انقلابی بزرگ خواهد انجامید که پیش‌بینی آن مشکل می‌باشد. فناوری‌هایی که موجب این پویایی پیچیده می‌شوند عبارتند از: پیل‌های سوختی، باتری‌ها، پیل‌های خورشیدی (هر دو نوع فتوولتاییک و تولیدکننده هیدروژن) و پیشرفت‌های بالقوه در کارایی توزیع نیرو.

در اینجا لازم است ابتدا شرح مختصری درباره این زمینه نسبتاً جدید نانوفناوری داده شود و پس از آن ارتباط نانوفناوری با سیستم‌های انرژی توضیح داده خواهد شد.

بازار انرژی با مصرف، تولید و توزیع انرژی تعریف می‌شود. در جنبه مصرف، تقاضای رو به رشدی از سوی مشترکان خانگی، تجاری، صنعتی و ترابری مشاهده می‌گردد. تقاضا تقریباً تابعی از قیمت جهانی انرژی (به طور خاص نفت) و رشد اقتصاد جهانی است. بازارهای نوظهور و در حال توسعه چین، هند، آمریکای لاتین، آفریقا و اروپای شرقی ظرفیت پدید آوردن یک تقاضای باور نکردنی انرژی را دارند. از طرف دیگر، محدودیت‌های زیست محیطی از جمله تغییرات جهانی آب و هوا، آلودگی آب و هوا و نابودی جنگل‌ها، صنعت را به جستجوی روش‌هایی تشویق کرده است، تا سطح آلاینده‌گی محصولات

۲- نانوفناوری چیست؟

تعریف نانوفناوری بر پایه پیشوند نانو استوار است که از کلمه یونانی "dwarf" به معنی کوتاه جلوه دادن (کوئوله) برداشت شده است. کلمه نانو در اصطلاح فنی‌تر به معنی 10^{-9} یا یک بیلیونیم از چیزی است. برای مقایسه اندازه یک ویروس حدوداً ۱۰۰ نانو متر است. کلمه نانوتکنولوژی معمولاً هنگامی به کار می‌رود که بخواهد به اشیایی با اندازه ۰/۱ تا ۱۰۰ نانومتر استناد شود. نانوفناوری قادر است راه‌های جدیدی برای ساخت اشیاء توسعه دهد که از سویی مستلزم کاهش اندازه ساختارها به مقیاس نانو است و از سوی دیگر، درگیر دست‌کاری اتم‌ها و مولکول‌های تک به سوی ساختارهای نانو است.

طیف گسترده‌ای از کاربردهای رایج و آینده نانوفناوری شامل افزایش بازده ساخت، جریان رایج کاهش مصرف انرژی، منابع انرژی تجدیدپذیر (پیل‌های خورشیدی، پیل‌های سوختی)، حس‌گرها و استفاده‌های دارویی است که به نظر می‌رسد بسیار سریع‌تر از فناوری‌های رایج دیگر بتواند به دورنمای ترسیم شده دسترسی پیدا کند [۱].

اهمیت تحقیقات انرژی در حال افزایش است. نانوفناوری توانایی‌های امید بخشی در تمام قسمت‌های بخش انرژی نشان می‌دهد. اغلب پیشرفت‌های پروژه‌های نانوفناوری مربوط به انرژی در زمینه‌های ذخیره، تبدیل، بهبود ساخت توسط کاهش مواد، سرعت فرآیندها، افزودن منابع تجدیدپذیر انرژی و به طور خاص در محصولاتی همچون باتری‌ها، ساخت کاتالیست‌ها، پیل‌های سوختی و خورشیدی است [۲]. برای مدت‌های طولانی انرژی خورشید تنها منبع تجدیدپذیر انرژی خواهد بود که ظرفیت پاسخ‌دهی نیازهای فناوری بشر را داراست. پیشرفت‌های عمده در بازده تبدیل، هزینه و پایداری دستگاه‌های خورشیدی می‌تواند به افزایش کاربرد انرژی خورشید منجر شود [۳].

۱-۲- اساس و انواع پیل‌های خورشیدی

فتوولتائیک^۱ فناوری‌ای است که مستقیماً انرژی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند. در این بخش، فناوری‌های فتوولتائیک رایج را معرفی می‌نماییم که اغلب از نانوفناوری استفاده نمی‌کنند سپس درباره اینکه نانوفناوری چگونه قادر است فناوری‌های حاضر را بهبود بخشد و یا راه‌حل دیگری مانند پیل‌های خورشیدی حساس به رنگ

آلی را جایگزین کند توضیح می‌دهیم.

کمک نانوفناوری به بهبود فناوری تولید الکتروسیسته فتوولتائیک خورشیدی عمدتاً مربوط به بزرگی نسبت سطح به حجم نانو ذرات است. در تمامی انرژی‌های تجدیدپذیر فتوولتائیک کمترین سهم بازار را داراست؛ اما قطعاً دارای بیشترین پتانسیل می‌باشد.

در قلب تمامی پیل‌های خورشیدی دو لایه مجزاست، یکی با مخزن الکترون که وظیفه قطب منفی را دارد و دیگری شامل فضای خالی برای الکترون‌ها (چاله الکترون) نقش قطب مثبت پیل را ایفا می‌نماید. جذب نور از خورشید یا منابع دیگر نور توسط پیل انرژی لازم برای راندن الکترون‌ها از قطب منفی به قطب مثبت را فراهم می‌آورد، که باعث ایجاد اختلاف ولتاژ می‌شود. بنابراین، پیل قادر است به عنوان یک منبع انرژی الکتریکی به کار رود [۴].

یک پیل فتوولتائیک از یک دیود که به طور معمول از مواد نیمه هادی ساخته می‌شود، بین دو لایه رسانای الکتریکی تشکیل می‌شود. نور خورشید از لایه رسانای بالایی عبور کرده سپس جذب نیمه هادی می‌شود و تولید جفت الکترون-چاله الکترون می‌نماید که بین دو رسانا پخش می‌شود. جریان مستقیم^۲ هنگامی که پیل به دستگاه الکتریکی متصل شود ایجاد می‌شود. الکترون‌ها و چاله‌ها توسط دیود جدا می‌شوند و عامل جریان در مدار خواهند بود. در شکل (۱) شمایی از این عملیات نشان داده شده است [۵].

پیل‌های خورشیدی مرکب از مواد نیمه هادی گوناگون‌اند. اغلب ماده مورد استفاده سیلیکون است. دو نوع اصلی پیل‌های خورشیدی، پیل‌های کریستالی و آمورف هستند. فناوری کریستالی بازده بالاتری دارد اگر در زاویه درست نسبت به خورشید قرار گیرد. پیل‌های خورشیدی فناوری آمورف کاربرد بهتری در موارد مختلف دارند، نظیر کاربرد در مقیاس‌های کوچک که به عنوان منبع انرژی در ماشین حساب استفاده می‌شوند [۵].

۲-۲- پیل‌های خورشیدی کریستالی^۳

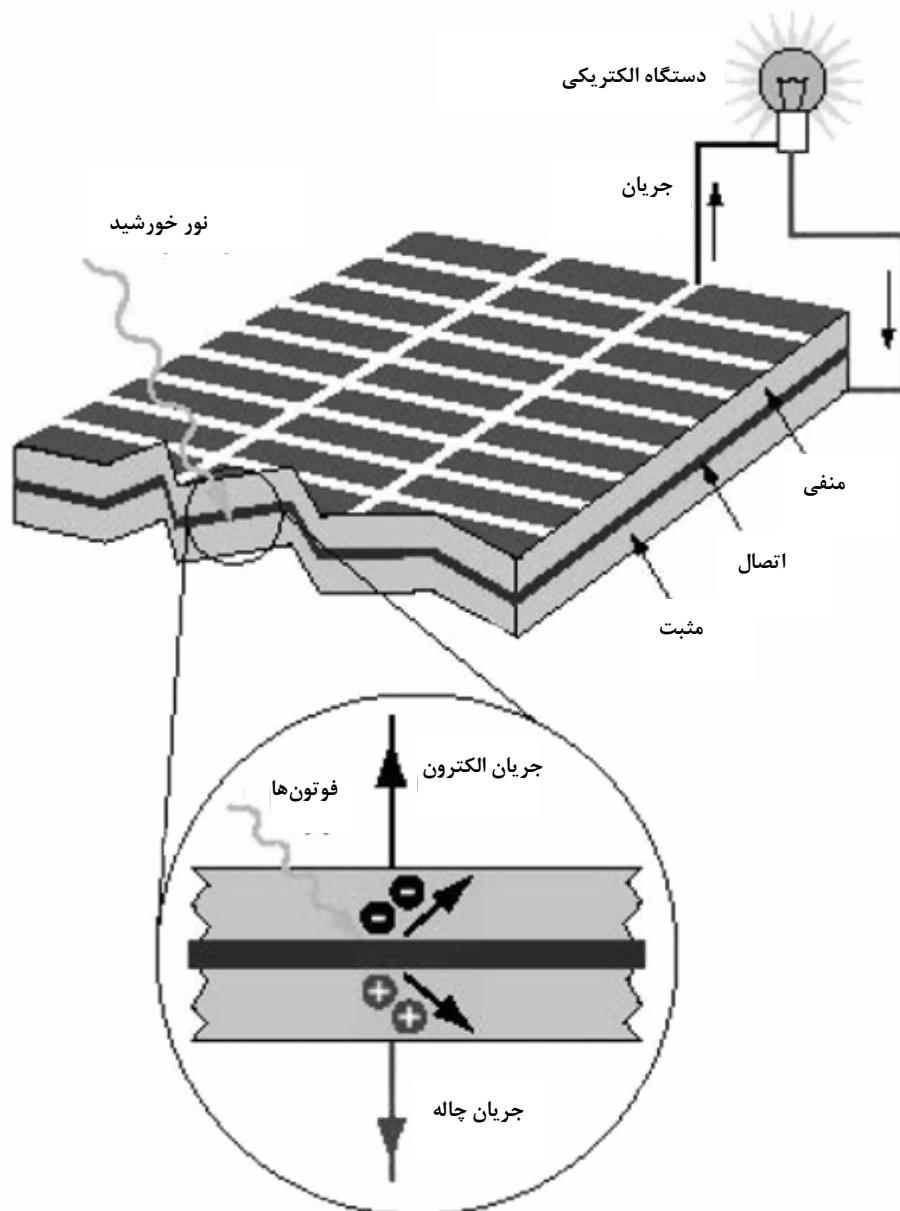
در این زمینه، فناوری غالب تک و پلی کریستال سیلیکون است که در مجموع ۸۰ درصد سهم بازار را در سال ۲۰۰۰ به خود اختصاص داده‌اند که انتظار می‌رود این رقم به حدود ۷۰ درصد در سال ۲۰۱۰ کاهش یابد. برای ساختن یک پیل تک کریستالی سیلیکونی، مواد نیمه هادی

2. DC
3. Crystalline solar cell

1. Photovoltaic

قالب‌ها جاری می‌شود و به صورت صفحه در می‌آید. در طی جامد شدن مواد ساختارهای کریستال با اندازه‌های مختلف شکل می‌گیرد که حاشیه‌های آن برآمده و نقص پیدا می‌کند. در نتیجه این نقص کارایی پیل کاهش می‌یابد [۷-۵].

مطلقاً خالص ضروری است. میله‌های تک کریستالی از سیلیکون مایع استخراج می‌شوند، سپس به صورت ویفرهای نازکی حدود ۰/۲ تا ۰/۳ میلیمتر شکل‌دهی می‌شوند. مسئله اصلی این است که حدود نیمی از مواد سیلیکونی گران قیمت در این فرآیند تلف می‌شود. تولید پیل‌های پلی کریستالی پر حاصل تر است. در این فرآیند، سیلیکون مایع به داخل



شکل ۱- مبانی عملکرد پیل خورشیدی [۵]

۲-۳- پیل‌های خورشیدی فیلم‌نازک آمورف^۱

نوع سوم پیل خورشیدی می‌تواند توسط رسوب یک فیلم سیلیکونی روی شیشه یا مواد زیر لایه دیگری تولید شود که آن را آمورف (α -Si) یا پیل فیلم نازک می‌نامند. اندازه ضخامت لایه کمتر از ۱ میکرومتر است، بنابراین هزینه‌های تولید به خاطر استفاده از ۳۰۰ برابر کمتر از مواد عامل کاهش می‌یابد. پیل‌های آمورف از موادی با کیفیت پایین‌تر ساخته می‌شوند از این رو، آنها به طور عمده دارای بازده کمتری نسبت به انواع دیگر می‌باشند. بازده انواع تجاری این نوع حدود ۸ درصد است. انگیزه سرمایه‌گذاری در سیلیکون آمورف هزینه تجهیزات و انرژی مورد استفاده در رسوب‌گذاری است [۵].

دو فیلم نازک دیگر که به بازار تجاری وارد شده و یا در نظر است که وارد شود مس ایندیم دی سلناید (CIS) و کادمیم تلوراید (CdTe) هستند. شرکت زیمنس CIS را در سال ۱۹۹۸ معرفی نمود. فرصت بازار CdTe ممکن است کمتر باشد؛ زیرا این حقیقت که کادمیم یک ماده سمی است سبب ایجاد نگرانی‌های محیط زیست است، هرچند مقدار ماده مورد استفاده خیلی کم است و تمهید بازیافت کامل در این محدوده استفاده وجود دارد. متخصصان بر این باورند که CdTe ماده‌ای با بهترین پتانسیل در سرعت تولید و هزینه کم تولید است. بازده پیل‌های CIS در آزمایشگاه به ۱۹/۲ درصد رسیده و علاوه بر این مواد، پایه آن ارزان است. بر این اساس، یکی از تولیدکنندگان عمده شل سولار^۲ آینده مطلوبی برای پیل‌های خورشیدی فیلم‌نازک بر پایه CIS پیش‌بینی می‌کند [۵-۸].

۳- اهداف اصلی کاربرد نانوفناوری

هدف نانوفناوری بهبود بازده و علاوه بر آن جنبه هزینه‌های پیل‌های خورشیدی است. بازده پیل‌های خورشیدی قابلیت افزایش، با به کار گیری فیلم نازک (متخلخل یا غیر متخلخل) را داراست. نانو مواد همچنین برای تولید پیل‌های کارآمد و کم هزینه CIS (کارآمد به معنی بازده ۴-۵ درصدی و شاید در پیل‌های تحقیقاتی ۱۰ درصد است) مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانو ذرات برای شروع رشد یک لایه متراکم روی مساحتی بزرگ به طور یکنواخت به کار می‌روند. تأثیر اندازه نانو پایین آوردن دمای ذوب مواد CIS نیز است [۹].

در سال ۱۹۹۱ رگان و گراتزل^۳ یک پیل خورشیدی حساس به رنگ (DCS) با بازده بالا را گزارش کردند. DCS ها موفق به افزایش بازده جذب نور توسط استفاده از سطح بزرگ منافذ فیلم‌های TiO_2 در ابعاد نانومتر به عنوان الکتروود شدند. به این ترتیب بود که تحقیق و توسعه متمرکزی روی DCS ها به منظور فهمیدن مکانیزم و بهبود بازده و قابلیت اطمینان و پایداری این پیل‌های خورشیدی انجام پذیرفت. DCS ها نوعاً شامل یک فیلم جاذب رنگ TiO_2 با منافذ در ابعاد نانو روی یک اکسید رسانای شفاف ساخته می‌شوند. فیلم، ابتدا در یک الکتروولت قرار می‌گیرد و پوشانده می‌شود و روی یک الکتروود جمع‌آوری‌کننده پلاتینی قرار می‌گیرد. برای ارزیابی بازده تبدیل انرژی از موارد زیر استفاده می‌شود [۱۰]:

- بازده جمع‌آوری نور،
- بازده تزریق بار الکتریکی،
- انتقال الکترون و بازده جمع‌آوری الکتروود TiO_2 .
- انتقال چاله (بار مثبت) و بازده جمع‌آوری در الکتروولت.

بنابراین، روش دیگر برای کاهش هزینه‌های تولید، استفاده از پیل گراتزل و پیل‌های حساس به رنگ است. در این مورد، نیازی به مواد گرانبه سیلیکونی یا مواد نیمه هادی دیگر نیست. در عوض الکترون‌ها توسط جذب نور در یک رنگ تولید و سپس به ذرات TiO_2 نانوساختار انتقال می‌یابند. البته رنگ مورد استفاده گران است. اندازه و اتصال میانی بین نانو ذرات برای انتقال سریع بار اهمیت دارد همچنین برای کاهش سرعت ترکیب شدن جفت چاله-الکترون (توسط فاز الکترون‌دهنده) مناسب است. اندیشه اصلی پایه تحقیقات دیگر روی حالت جامد است. ایده جایگزینی یک پلیمر رسانا یا مواد غیر آلی از جمله $FeS, CuS, CuInS$ توسط پروفیسور شونمن^۴ در سال ۲۰۰۱ در هلند مطرح شد [۱۱].

پیل‌های خورشیدی نانو کریستالی نویددهنده انتخاب دیگری در برابر پیل‌های خورشیدی گرانبه رایج هستند. همچنین بازده نسبتاً پایین در پیل‌های بزرگ از این نوع یکی از فاکتورهای به تأخیر افتادن ورود این نوع از پیل‌ها به بازارهای تجاری است. پایین بودن کارایی پیل‌های بزرگ عمدتاً به دلیل تجمع اتلاف‌های مقاومتی است [۱۲].

3. Gratzel, O.Regan
4. J.Schoonman

1. Amorphous solar cell
2. Shell Solar

معمولی است [۱۷].

در یک مطالعه توسط فوکای^۸ پیل‌های خورشیدی حساس به رنگ که از الکترودهای متخلخل SnO_2 ساخته شدند که در آنها از نانوذرات SnO_2 استفاده نمود. ویژگی‌های ولتاژ-جریان این DCSها با پیل‌های متشکل از الکترودهای TiO_2 رایج مقایسه شد و در این مقایسه مقدار رنگ جذب در الکترودها مشابه بود. نتایج مقایسه این دوتی نوع جریان بیشتر 15 mA/cm^2 ، DCS با الکترودهای SnO_2 نسبت به TiO_2 گزارش شد در حالی که در شرایط یکسان نور خورشید ضخامت $10 \mu\text{m}$ برای SnO_2 در نظر گرفته شده بود. در ادامه، ضرایب نفوذ الکترون و طول عمر الکترودهای SnO_2 و TiO_2 اندازه‌گیری شد و این اندازه‌گیری نشانگر نفوذ آرام‌تر و طول عمر بیشتر در DCSهای SnO_2 نسبت به TiO_2 بود [۱۸].

در حال حاضر، پیل‌های خورشیدی تقریباً ارزان قیمت با بازده انرژی حدود ۱۲ درصد در دسترس هستند، در صورتی که گران‌ترین پیل‌های خورشیدی با بازدهی ۳۴ درصد برای ماهواره‌ها ساخته می‌شوند. اما در مقیاس بزرگ کاربردهای زمینی به طور بازدارنده‌ای گران هستند. محققان دانشگاه برکلی کالیفرنیا و آزمایشگاه ملی لارنس برکلی نوع جدید پیل خورشیدی منسوب به رنگ را گزارش کرده‌اند که هزینه ساخت نسبتاً پایین و پتانسیل دست‌یافتن به بازده قابل مقایسه در مقابل آنهاست که گرانبه‌تر هستند را نوید می‌دهد [۱۹].

رقابت عمده برای استفاده از انرژی خورشید برای توسعه سیستم‌های تبدیل است که برای یک دوره ۲۰ تا ۳۰ سال پایدار و مقاوم باشند و پیامد آن کاهش محسوس در نسبت هزینه به بازده برای تولید الکتروسیسته و تجدید نیرو است. در سال‌های گذشته پیل‌هایی بر پایه تک کریستال سیلیکونی دارای تقدم مشخصی بر حسب کارایی بالا و قیمت پایین هستند؛ ولی این که چنین پیل‌هایی در رقابت با سوخت فسیلی ارزان خواهند بود مورد تردید بسیار است. نانوفناوری قابلیت تحقق کاهش هزینه پیل‌های فتوولتائیک را دارد که توسط آن باید بازده پیل بزرگتر از ۱۵-۱۴ درصد و هزینه آن کمتر از ۱۰۰ دلار آمریکا به ازای هر مترمربع باشد تا امتیاز قیمت یک دلار به ازای هر وات فراهم شود.

دستگاه‌های فتوولتائیک نانو ساختار باید قادر به تحمل ۱۵ تا ۳۰

در پروژه فتوولتائیک پلیمری، یک گروه به رهبری پروفیسور هاملن^۱ در دانشگاه گرونینگن^۲ یک پیل خورشیدی شامل مواد مرکب از یک مخلوط پلیمری و نانولوله‌های کربنی ساخته شد. لایه فعال بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ نانومتر ضخامت دارد. هدف پروژه، افزایش کارایی پیل‌های پلاستیکی به ۵ درصد در ۵ سال و سرانجام ۱۰ درصد است. اگرچه پیل‌ها کارایی پایین دارند ولی از مزایایی همچون قابل انعطاف و ارزان بودن برخوردار هستند [۱۳].

یکی دیگر از گروه‌های تحقیقاتی مهم در این زمینه لیوس^۳ در استرالیا به ریاست دکتر نیازی سردار^۴ است که در پیل‌های خورشیدی پلاستیکی آنها از C60 برای فراهم نمودن تحریک خیلی سریع الکترون‌های انتقال یافته از مخلوط پلیمری توأم استفاده نموده‌اند [۴ و ۱۴].

شرکت کالیفورنیایی نانسيس^۵ نانومیل‌های کادمیم تلوراید را در پلیمرهای رسانای الکتروسیسته به کار گرفت. نانومیل‌ها توانایی جذب نور را افزایش و رسانش الکترون‌ها را مؤثرتر نمودند (به خصوص در یک ردیف) [۱۵].

کاشیوت^۶ اثر سرعت سانتیفریوژ را روی اندازه بافت و همچنین کریستالی شدن و خواص مختلف پودر حاصل را در ساخت فیلم‌های نانوکریستالی اکسید روی (ZnO) توسط روش کلونیدی از نیترات روی را بررسی نمود. عبور فیلم‌های ساخته شده اندازه‌گیری و پهنای شکاف باند محاسبه شد. برای پیل‌های خورشیدی حساس به رنگ اکسید روی رنگ‌های مصنوعی و طبیعی استفاده شد. اندازه بافت فیلم‌های ساخته شده با افزایش سرعت سانتیفریوژ از ۱۵۰ nm به ۸۰ nm کاهش یافت. ولتاژ مدار باز پیل ساخته شده از این فیلم در حدود ۰/۵۵-۰/۶ ولت بود که نشانگر خواص خوب فیلم‌های ساخته شده توسط این روش است [۱۶].

گروه پروفیسور جاویر یوسدا^۷ در دانشگاه پلی تکنیک مادرید از لحاظ تئوری بازده پیل‌های خورشیدی را توسط به کارگیری یک پیوند میانی فلزی (MIB) افزایش دادند. تئوری MIB عمده‌تاً دارای حد بالای بازده ۶۳/۲ درصدی در مقابل ۴۰/۷ درصد، بازده پیل‌های

1. J.Hummelen
2. Groningen
3. LIOS) Linz Institute for Organic Solar Cells(
4. Niyazi Serdar
5. Nansys
6. A.B.Kashyout
7. Javier Uceda

8. Y. Fukai

خورشیدی اتصال چندگانه (پیل با فضای خاص جهت جذب طیف گسترده‌تر فوتون‌های نور خورشید با انرژی‌های متفاوت) به پیشرفت‌هایی در جهت ساخت دستگاه‌های واقعی با بازده در حدود ۴۰ درصد رسیده است. پیل خورشیدی با اتصال چندگانه از پیل‌های کوچکتری با فضای پیوند متفاوت تشکیل شده است. قسمت‌های مختلف انرژی رسیده توسط طیف خورشید بوسیله ریزپیل‌ها به ترتیب با فضای پیوندی مختص خود جذب می‌شود در نتیجه ائتلاف‌های گرمایی در مقایسه با پیل‌های خورشیدی معمولی کاهش می‌یابد [۲۳-۲۱].

پیل‌های خورشیدی فتوولتائیک تجاری معمولی (یعنی آنهایی که از نور ایجاد الکتریسیته می‌کنند) حدود ۱۵ درصد و انواع آزمایشگاهی آن تا ۳۰ تا ۴۰ درصد بازده دارند. این مقدار بسیار بهتر از حدود یک درصد بازده فتوسنتز طبیعی است. هر چند، طبیعت از این انرژی مستقیماً برای سنتز شیمیایی سود می‌برد تا تولید الکتریسیته. در هر دقیقه به اندازه مصرف سالانه کل دنیا، انرژی خورشیدی به سطح زمین می‌رسد [۴]. این مطلب لاقلاً ایده‌ای از پتانسیل این بازار را ارائه می‌دهد. یک تحقیق جدید بیانگر افزایش کارایی پیل‌های خورشیدی با استفاده از نانوذرات یا نانولوله‌هاست. با این حال، هم‌اکنون بزرگترین مانع تجاری سازی آنها هزینه آنهاست و راهکارهای فراوان کاهش قیمت با کاهش کارایی همراه است. با استفاده از ساختارهای نانو در پیل‌های خورشیدی مزایایی مانند کاهش مقدار مواد، افزایش جذب نور، بهبود و توسعه یکنواختی مخصوص، کاهش سطح تماس، قابلیت تنظیم فضای پیوندی به منظور کارایی بهتر در جذب نور و... انتظار می‌رود. این خصوصیات ممکن است برای ساخت پیل‌هایی با کارایی بالا و قیمت پایین ترکیب شوند و به عنوان نسل بعدی منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر ارائه شوند [۲۴].

۴- دستگاه‌های مختلف استفاده از حرارت خورشید

دستگاه‌های تبدیل مستقیم انرژی حرارتی به الکتریکی بر پایه دستگاه‌های مبدل انرژی ترمودینامیکی و ترموفتوولتائیک (TPV) فرصت جدیدی را در محدوده نیروی متوسط توسعه می‌دهد که رقیبی را متوجه تبدیل نیروی مستقیم فتوولتائیک (PV) می‌سازد. سیستم‌های حرارتی خورشیدی به دو دسته مهم تقسیم می‌شود.

سال عملیات در هوای آزاد با چرخه روزانه‌ای در دمای ۸۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد در بیشترین تابش نور آفتاب باشند. کارهای اخیر نشان داده‌اند که پیل‌های فیلم نازک را می‌توان بر پایه مواد نانوذره ساخت که بازده و پایداری قابل قبولی دارند.

پیل‌های فتوولتائیک بر پایه نانوذرات حساس به رنگ TiO_2 (پیل خورشیدی حساس به رنگ، همچنین به نام پیل گراتزل نیز شناخته می‌شوند) برای چندین سال موضوع مطالعات بسیاری بوده است و می‌تواند ارزان، شکل‌پذیر و قابل انعطاف ساخته شود. عملیات پیل بر پایه تولید نوری جفت "الکترون-چاله‌الکترون" در رنگ با حرکت سریع الکترون به سوی TiO_2 و آغاز پر شدن چاله الکترون توسط الکترون‌دهنده مناسب بنا شده است. مسأله بسیار مهم در همه موارد بهبود بازده و پایداری است. چالش دیگر، حذف فاز مایع (الکترولیت) و پیدا کردن الکترون‌دهنده دیگر است - بهتر آن است که الکترون‌دهنده بر پایه مواد جامد باشد. فاز مایع می‌تواند توسط ماتریس‌های پلیمری چند پیوندی شامل مخلوطی از پلیمرهای توأم با یک ساختار نانو ماده غیر آلی جایگزین شود. جذب فوتون یک برانگیختگی در پلیمر ایجاد می‌کند که در حدود ۲۰ نانومتر قبل از نوترکیب شدن جفت چاله و الکترون، نفوذ می‌کند [۲۱-۲۰].

دستگاه‌های جدید بر پایه یک آمیزه از نیمه هادی پلیمری (ماده آلی) و نانومیله‌های کلسیم سلناید (ماده غیر آلی) قرار دارد. در این پیل، جذب نور می‌تواند در هر کدام از نانومیله‌ها و یا پلیمر اتفاق بیافتد. تفکیک بار الکتریکی در سطح مشترک بین آنها قرار می‌گیرد. در نتیجه، بوسیله الکتروده‌های جمع‌آوری‌کننده ایندیم تین اکسید (ITO) و آلومینیم (Al) بار الکتریکی منتقل می‌شود. پیل‌های خورشیدی که به این ترتیب ساخته می‌شوند، پتانسیل‌های مناسبی از جمله هزینه پایین، وزن خیلی کم، انعطاف‌پذیری و محدوده وسیع کاربرد را دارا هستند.

به علت اندازه نانومیله‌ها اندازه ذره در خواص نوری آنها مؤثر است، بوسیله میله‌ها با اندازه مناسب آنها می‌توانند نور را در یک طول موج معین از رنگ‌ها جذب کنند. توسط دسته‌ای از پیل‌ها با اندازه متفاوت میله‌ها، محدوده‌ای وسیع از طول موج‌های سرتاسر طیف خورشید را می‌توان جمع‌آوری و به انرژی تبدیل نمود. علاوه بر این، حجم میله‌ها در مقیاس نانومتر منجر به کاهشی عمده در مقدار ماده نیمه هادی مورد نیاز در مقایسه با پیل‌های مرسوم می‌شود. تاکنون پیل

انتقال حرارت جابجایی نیز افزایش چشمگیر ضریب انتقال حرارت را در پی دارد [۲۶].

۴-۲- مزایای بالقوه نانوسیال

فرایند انتقال حرارت و استفاده از مبدل‌های حرارتی در صنایع با افزایش میزان انتقال حرارت و کارایی مبدل‌های حرارتی به صرفه‌جویی در هزینه منجر می‌شود. با رفتاری که نانوسیال از خود در زمینه انتقال حرارت نشان داده است، امید به صرفه‌جویی در صنایع بزرگ بیشتر شده است. از قابلیت‌های بالقوه نانوسیالات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود.

الف - کاهش اندازه سیستم‌های انتقال حرارت

به توجه به اینکه نانوسیال باعث افزایش انتقال حرارت می‌شود، برای انتقال یک مقدار مشخص حرارت، تجهیزات و مبدل‌های حرارتی لازم وقتی که از نانوسیال بجای سیال معمولی برای انتقال حرارت استفاده شود، به حجم و اندازه کوچک‌تری نیاز خواهند داشت.

ب - کاهش هزینه‌ها و کاهش مصرف انرژی

به دلیل کاهش توان مصرفی پمپ‌های انتقال سیال و از طرفی کاهش اندازه و وزن تجهیزات انتقال حرارت با استفاده از نانوسیال، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و عملیاتی صنایع بوجود می‌آید.

ج - توسعه انتقال حرارت

کاهش اندازه ذرات یک جامد که با افزایش تعداد آنها در واحد جرم همراه است، منجر به افزایش سطح مخصوص می‌گردد. بطوری که سطح مخصوص ذراتی با اندازه نانومتری در حدود ۱۰۰۰ برابر سطح مخصوصی ذراتی با ابعاد میکرومتر می‌باشد. با کاهش ذرات به حدود نانومتر درصد بیشتری از اتم‌های آن در نزدیکی سطح قرار می‌گیرند. سطح ذرات در انتقال حرارت مؤثر بوده و استفاده از نانوسیال به افزایش سطح انتقال حرارت منجر می‌گردد [۲۷].

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در حال حاضر استفاده از پیل‌های خورشیدی به عنوان یک فناوری و یک روش جهت کاهش آلودگی محیط زیست به سرعت در حال گسترش است. در این گزارش، علاوه بر پرداختن به اساس و انواع

اول، سیستم‌های حرارتی خورشیدی کم‌دما که شامل تمرکز نور خورشید نمی‌شود و یا به طور خاص ممکن است برای تمرکز کمی به کار گرفته شود. دسته دوم، سیستم‌های حرارتی خورشیدی با دمای بالا هستند که نیازمند متمرکز کردن مستقیم نور خورشید در یک نسبت متغیر از حدود ۲۰ تا حدود چند صد برابر وابسته به ویژگی‌های فرآیند و سیستم است.

سیستم‌های خورشیدی با دمای بالا از آرایش آینه‌گونی به منظور متمرکز کردن نور استفاده می‌کنند و انرژی خورشید را به انرژی گرمایی با دمای بالا تبدیل می‌کنند. این گرما می‌تواند به الکتریسیته تبدیل شود یا می‌تواند برای انجام یک واکنش شیمیایی به کار گرفته شود. سیستم‌هایی که از انرژی خورشیدی برای تولید انرژی استفاده می‌کنند از سه قسمت مهم تشکیل می‌شوند.

۱. سیستم نوری که نور خورشید را جمع‌آوری و متمرکز می‌نماید.

۲. گیرنده یا راکتور که نور را به گرما تبدیل می‌کند.

۳. سیستمی که گرما را به الکتریسیته تبدیل می‌کند و یا راکتور که گرما را به پتانسیل شیمیایی تبدیل می‌کند.

با توجه به پیشرفت روزافزون نانو فناوری می‌توان از این فناوری در بهبود انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی خورشیدی استفاده کرد [۲۸].

۴-۱- امتیاز استفاده از نانو فناوری

بازده انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی خورشیدی، هدایت گرمایی سیال حامل انرژی و ضریب جابجایی انتقال حرارت نقش مهمی را بر عهده دارد. سیالات متداول در انتقال حرارت و حامل انرژی در صنایع را معمولاً سیالاتی نظیر آب، روغن‌ها و اتیلن گلیکول تشکیل می‌دهند. با افزایش رقابت جهانی در زمینه‌های مختلف صنایع و نقش انرژی در هزینه تولید، این صنایع به شدت به سمت توسعه سیالات پیشرفته و جدید با هدایت حرارتی زیاد پیش می‌روند.

نانوسیال از طریق افزودن نانوذرات فلزی، افزودن نانوذرات اکسیدهای فلزی و نانولوله‌های کربنی نیز می‌توان تهیه کرد. افزودن نانوذرات اعم از فلزی، اکسیدهای فلزی یا نانولوله‌های کربنی به یک سیال، نظیر آب، فقط هدایت حرارتی آن را تحت تأثیر قرار نداده؛ بلکه سایر خواص فیزیکی، نظیر ظرفیت حرارتی سیال نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد. افزودن نانوذرات باعث افزایش هدایت حرارتی می‌شود و در

- [13] the University of Groningen in the Netherlands. See: <http://www.fwn.rug.nl/solar/welcome.html>, and www.eet.nl
- [14] Linz: http://www.ipc.uni-linz.ac.at/os/index_os.html .
- [15] P.J. Sebastian "Solar Energy Materials & Solar Cells" 88, (2005).
- [16] A.B. Kashyout "Preparation and characterization of nano particles ZnO films for dye-sensitized solar cells" *Materials Chemistry and Physics* 90, 230–233, (2005).
- [17] J. Uceda "A EU project applying quantum dot (nanotechnology) to solar cells to increase efficiency and lower costs", See: <http://dbs.cordis.lu/cordis-cgi>, Search: Solar + nano, (2004).
- [18] Y. Fukai "Highly efficient dye-sensitized SnO₂ solar cells having sufficient electron diffusion length" *Electrochemistry Communications* 9, 1439–1443, (2007).
- [19] National Nanotechnology Initiative – Grand Challenge Workshop "Nanoscience Research for Energy needs", (2004). <http://www.whitehouse.gov/WH/EOP/OSTP/NSTC.htm>
- [20] M. Gratzel "Perspectives for Dye-sensitized Nanocrystalline Solar Cells," *Prog. Photovoltaics* 8, 171, (2000).
- [21] R. King "20th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition", p. 118. (2005).
- [22] Matthias Neges, "Monte Carlo simulation of energy loss and collection of hot charge carriers, first step towards a more realistic hot-carrier solar energy converter" *Solar Energy Materials & Solar Cells* 90, 2107–2128, (2006).
- [23] M. Yamaguchi *Prog. Photovolt: Res. Appl.* 13, (2005).
- [24] Hideki Hasegawa, "Dynamics and control of recombination process at semiconductor surfaces, interfaces and nano-structures" *Solar Energy* 80, 629–644, (2006).
- [25] C. William McCurdy, "Theory and Modeling in Nanoscience", Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA 94720, (2002).
- [26] Stephen U.S. Choi, "Nanofluid Technology: Current Status and Future Research", Second Korean-American Scientists and Engineers Association Research Trend Study Project Review 22-24, (1998).
- [27] Stephen U.S. Choi, "Two are Better Than One in Nanofluids", Argonne National Laboratory Energy Technology Division, 12, (2002).

پیل‌های خورشیدی اهداف اصلی استفاده از فناوری نانو در ساخت و عملکرد پیل‌های خورشیدی تشریح گردیده است. همانطور که در متن گزارش آمده است استفاده از فناوری نانو در دوزمینه پیل‌های فتوولتائیک و استفاده گرمایی از انرژی خورشیدی سبب افزایش چشمگیری در بهبود عملکرد پیل‌های خورشیدی سنتی گردیده است. انتظار می‌رود با گسترش بهره‌گیری از فناوری نانو در آینده بتوان به پیل‌های خورشیدی با راندمان بالا که کاهش قیمت تمام شده انرژی تبدیلی را به دنبال خواهد داشت دست یافت.

تشکر و قدردانی

باتشکر از آقای مهندس سهراب خان‌محمدی و خانم مهندس زهرا صالحی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند.

مراجع

- [1] A. Goetzberger, "Solar cells: past, present, future" *Solar Energy Materials & Solar Cells* 74, 1–11, (2002).
- [2] B. Das, "High-efficiency solar cells based on semiconductor Nanostructures" *Solar Energy Materials & Solar Cells* 63, 117-123, (2000).
- [3] National Nanotechnology Initiative – Leading to the Next Industrial Revolution (<http://www.whitehouse.gov/WH/EOP/OSTP/NSTC/html/iwgn/IWGN.FY01BudSuppl/toc.htm>), (2001).
- [4] L. L. Kazmerski, "Solar photovoltaics R&D at the tipping point: A 2005 technology overview" *Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena* 150 (2006).
- [5] Nanoforum Energy Report European Nanotechnology Gateway "Nanotechnology helps solve the world's energy problems", Nanoforum.org, (2004).
- [6] The results of a workshop on the future of solar power, <http://www.jointsolarpanel.com/> March (2002).
- [7] Silicon Solar: <http://www.siliconsolar.com> (2003).
- [8] Shell Solar: www.shell solar.com.
- [9] Nathan S. Lewis "Basic research needs for solar energy utilization" *Basic Energy Sciences on Solar Energy Utilization*, April 18-21, (2005).
- [10] Shozo Yanagida "Recent research progress of dye-sensitized solar cells in Japan" *C. R. Chimie* 9, 597–604, (2006).
- [11] P. Oelhafen "Nanostructured materials for solar energy conversion" *Solar Energy* 79, 110–121, (2005).
- [12] Won Jae Lee "Glass frit overcoated silver grid lines for nano-crystalline dye sensitized solar cells" *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry* 183, 133–137 (2006).