مجله شیمی کوانتومی و اسپکتروسکوپی
۱۳:٤٤ (۱٤۰۲) ٤۳-٥٦
Journal of Quantum Chemistry and Spectroscopy (JQCS)

افزایش قابلیت های تولید و ذخیره سازی انرژی با استفاده از فناوری نانو و استفاده از طیف سنجی دفع حرارتی پرتو مولکولی

مجتبی جمعیتی[1*]

[1]گروه فیزیک، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران

تاریخ ثبت اولیه:۱۴۰۲/۰۹/۰۳، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده:۱۴۰۲/۱۱/۲۲ ، تاریخ پذیرش قطعی:۱۴۰۲/۱۲/۱۳

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون مصرف انرژی، کاهش منابع سوخت‌های فسیلی و مسائل زیست محیطی مانند انتشار بیش از اندازه گازهای گلخانه‌ای که سبب گرم شدن کره زمین شده است، یافتن منابع انرژی جدید پایدار، به عنوان منابعی نامحدود، رایگان، زیست سازگار و در دسترس بهترین راهکار آینده بشر می‌باشد. امروزه توجه به انرژیهای تجدیدپذیر نظیر انرژی خورشیدی، باد، آب و امواج، زیست توده، پیل سوختی و هیدروژن در سبد انرژی کشورها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، برای چنین چالشی باید با بکارگیری ترکیب‌ها و منابع در دسترس راه‌حلی به‌صرفه ارائه داد. پیل‌های سوختی گزینه بسیار مناسبی هستند، در یک پیل سوختی، انرژی شیمیایی موجود در سوخت به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، مولکول هیدروژن به علت داشتن دانسیته انرژی زیاد و همچنین به عنوان یک سوخت پاک، یکی از سوخت‌های مناسب برای پیل‌های سوختی هیدروژن- اکسیژن به شمار می‌رود. این عنصر که فراوان‌ترین عنصر روی کره زمین است و بیش از ۹۰ درصد از کل مواد شناخته‌شده را تشکیل می‌دهد، می‌تواند به عنوان امکان‌پذیرترین منابع تجدیدپذیر در دسترس، شناخته شود. با این حال، تولید هیدروژن با استفاده از الکترولیز برای تجزیه آب به هیدروژن و اکسیژن دارای محدودیت‌هایی برای مصرف انبوه است و فعالان این حوزه را با چالش‌هایی مواجه کرده است. در این مقاله روش تولید هیدروژن و محدودیت‌های آن و همچنین نقشی که فناوری نانو می‌تواند در حل این مسئله داشته باشد، بررسی شده است.

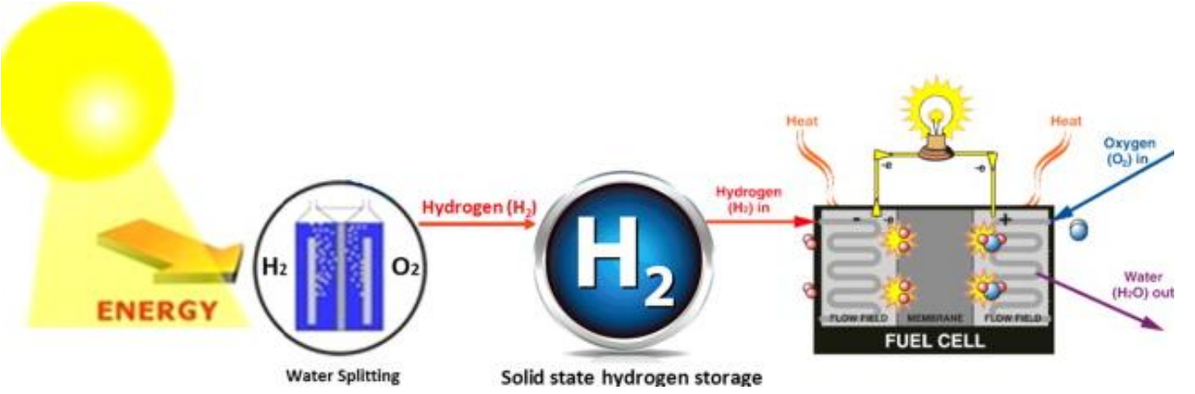
واژه های کلیدی: ***نانو تکنولوژی، انرژی، پیل سوختی، محیط زیست، هیدروژن.***

۱. مقدمه

از آنجایی که مصرف جهانی سوخت‌های فسیلی با سرعت نگران‌کننده و ناپایدار رشد می‌کند، انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌های سمی به سطوحی می‌رسد که از نظر زیست‌محیطی غیرقابل قبول است. توسعه پایدار جامعه در آینده متکی بر منابع انرژی

***عهده دار مکاتبات:** مجتبی جمعیتی
نشانی: گروه فیزیک، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران
تلفن:۰۸۶۴۴۴۶۳۹۲۲ **پست الکترونیک:**E-mail: drmjamiati@gmail.com

جایگزین است که تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست هستند. از آنجایی که خورشید بزرگترین و ارزان‌ترین منبع انرژی (رایگان) موجود ماست، می‌توان آن را به‌عنوان منبع انرژی تجدیدپذیر نهایی در نظر گرفت. به طور مداوم سیاره ما را با انرژی خورشیدی بمباران می‌کند، یک ساعت انرژی خورشیدی معادل بیش از کل انرژی مصرفی سالانه ما است. در میان روش های محدود برای تبدیل و استفاده از انرژی خورشیدی، تقسیم آب خورشیدی[1] به عنوان موثرترین و تمیزترین روش برای تولید هیدروژن در نظر گرفته شده است. سپس هیدروژن تولید شده می‌تواند توسط سلول‌های سوختی برای تولید الکتریسیته مورد استفاده قرار گیرد. با شروع از تبدیل انرژی خورشیدی و پایان دادن به استفاده از هیدروژن، یک اقتصاد مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر می‌تواند در دهه‌های آینده پیشنهاد و ساختار موفقیت‌آمیز داشته باشد. شکل ۱ طرح اقتصاد انرژی تجدیدپذیر (به عنوان مثال، انرژی خورشیدی و هیدروژن) را بر اساس برخی از فناوری های منتخب تبدیل و استفاده از انرژی تجدیدپذیر نشان می‌دهد. برای اینکه انرژی خورشیدی سهم عمده ای در تولید سوخت پاک (هیدروژن) داشته باشد، کارایی دستگاه های تقسیم آب خورشیدی باید بهبود یابد. فن‌آوری‌هایی برای ذخیره‌سازی هیدروژن با ظرفیت بالا و سلول‌های سوختی با کارایی بالا نیز باید توسعه یابد تا هیدروژن به سوخت اولیه برای اقتصاد مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر آینده تبدیل شود [۸-۱].



شکل ۱. طرحی از انرژی های تجدیدپذیر (به عنوان مثال، انرژی خورشیدی و هیدروژن) مبتنی بر اقتصاد مبتنی بر برخی از فناوری های منتخب تبدیل و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر [۷].

بهره برداری مداوم از سوخت های فسیلی و همچنین شرایط اقتصادی و ژئوپلیتیکی کنونی تأثیر قابل توجهی بر در دسترس بودن انرژی دارد که توسعه سوخت های جایگزین و سیستم های انرژی دوستدار محیط زیست را تشویق می کند. با توجه به این موضوع، به نظر می‌رسد که هیدروژن به دلیل تقاضای بالا برای تولید انرژی تجدیدپذیر، یک بردار انرژی جایگزین مناسب برای بسیاری از سیستم‌های انرژی هیبریدی باشد [۸].

در حال حاضر، شکی نیست که هیدروژن سبز می تواند نقش بسیار مهمی در انتقال انرژی ایفا کند. چالش های آن در بهبود تولید، حمل و نقل و ذخیره سازی آن در ارتباط با امکانات تولید تجدیدپذیر نهفته است. افزایش عرضه هیدروژن در برخی از صنایع، به

[1]Solar Water Splitting

ویژه در صنایع شیمیایی و در تمام صنایعی که نیاز به شدت انرژی حرارتی قوی دارند، به ویژه مورد استقبال قرار می گیرد. گام های ثابتی برای استفاده از آن در شبکه های توزیع گاز و در بخش‌هایی که برق رسانی پیچیده تر است، برداشته شده است. دستاوردهای تدریجی که در فناوری تبدیل الکتریکی (مثلاً پیل‌های سوختی) مشاهده می‌شود، تضمینی است که تحرک در جنبه‌های مختلف آن (جاده، دریا، راه‌آهن، هوانوردی و هوافضا) به تدریج به استفاده از هیدروژن متوسل می‌شود. در حال حاضر برخی از کشورها وجود دارند که شبکه های تامین هیدروژن تجدیدپذیر را برای اهداف متحرک نصب کرده اند [۸].

هزینه های هیدروژن و افزایش عرضه آن در بازار به شدت به کارایی تولید آن و مقایسه آن با تکامل متناظر سوخت‌های رقیب بستگی دارد. علاوه بر این و بر اساس قانون عرضه و تقاضا، وجود مطلوب مازاد هیدروژن موجود در آینده، این سوخت پاک را به راه‌حل ایده‌آل برای پایداری تبدیل می‌کند و به اهداف کربن‌زدایی مورد نظر می‌رسد. باید به خاطر داشت که مانند نفت یا گاز طبیعی، هیدروژن به طور طبیعی در اختیار ما بدون متحمل شدن هزینه‌های استخراج نیست. علاوه بر این، باید به برخی تفاوت‌های مرتبط توجه شود: ۱- احتراق هیدروژن، برخلاف آنچه در سوخت‌های فسیلی رخ می‌دهد، گازهای گلخانه‌ای منتشر نمی‌کند و ۲- در تولید هیدروژن از مواد خام فراوان، اعم از آب یا گاز طبیعی استفاده می شود. با در نظر گرفتن این که عصر حجر به دلیل کمبود سنگ به پایان نرسید، "عصر نفت" به احتمال زیاد به دلیل کمبود نفت به پایان نمی‌رسد. در واقع، این باید یک منبع پایان ناپذیر برای سایر صنایع باشد.

خوشبختانه، تحولات مهمی در تحقیقات علمی و فناوری برای تقویت گذار به سمت اقتصاد انرژی مبتنی بر هیدروژن صورت گرفته است. این امر اخیراً نه تنها از طریق بهبود فناوری‌های تولید، تبدیل و ذخیره‌سازی متعارف، بلکه با جستجوی فرآیندهای جدیدی که منجر به کاهش قابل توجه هزینه‌های ذاتی می‌شود، تکامل یافته است. موضوع مهم دیگری که باید از آن آگاه بود (که پیشرفت های قابل توجهی نیز داشته است) نگرانی در مورد ایمنی فرآیندهای تکنولوژیکی اعمال شده است.

۲. مزایای هیدروژن سبز

هیدروژن یک سوخت سازگار با محیط زیست مهم جایگزین سوخت های فسیلی متعارف است و برای یک جامعه پایدار اهمیت بیشتری پیدا می کند. تلاش برای کربن زدایی گسترده و مؤثر مستلزم تغییرات عمده ای در تقاضای انرژی، به ویژه برای برخی از بخش‌های تولیدی، به ویژه صنایع استخراجی و تبدیلی است. می‌توان با توضیح بیشتر نقش مفیدی که هیدروژن در فرآیندهایی که به شدت انرژی بالا نیاز است، شروع کرد، مانند صنعت آلومینیوم، که یکی از صنایع انرژی‌بر و تولید کننده CO_2 است [۹]. این گازهای گلخانه ای عمدتاً از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی تولید می‌شوند که انرژی مورد نیاز برای فرآیندهای مختلف صنعتی را تامین می‌کنند. سوخت‌های فسیلی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل گاز طبیعی، گاز مایع، نفت و نفت کوره سبک می‌باشد. هیدروژن را می‌توان در موتورهای احتراق داخلی یا در پیل‌های سوختی برای تولید گرما و الکتریسیته به کار برد. در مورد دوم، به دلیل فعالیت الکتروشیمیایی بالا، گزینه بسیار کارآمدی است، در حالی که تقریباً ۱۰۰٪ کاهش انتشار را به همراه دارد.

این به این فرض اشاره دارد که سلول‌های سوختی اکسید جامد را می‌توان در محدوده‌ای از ۱ کیلووات تا ۱۰۰ مگاوات یا حتی بیشتر اعمال کرد. عملیات دمای بالا آنها (به عنوان مثال توسط یک منبع حرارتی خورشیدی تامین می شود) تولید چندین درجه گرمای اتلاف را قادر می سازد سپس برای گرمایش فرآیند برای افزایش توان یا حتی برای اصلاح داخلی سوخت هیدروکربنی به H_2 بازیابی شود [۱۰] . پیل‌های سوختی اکسید جامد هیدروژنی[1] (H_2) می‌توان برای تولید گرمای با عیار بالا برای ذوب و برق استفاده کرد که به شبکه باز می گردد و در نتیجه مصرف برق خالص سیستم را کاهش می‌دهد (الکتریسیته مورد نیاز کارخانه ذوب معمولاً توسط شبکه تامین می شود). به طور معمول، پیل‌های سوختی با راندمان الکتریکی حداقل ۶۰٪ و بازده حرارتی و توان ترکیبی بالاتر از ۹۰٪ کار می‌کند [۷ و ۸].

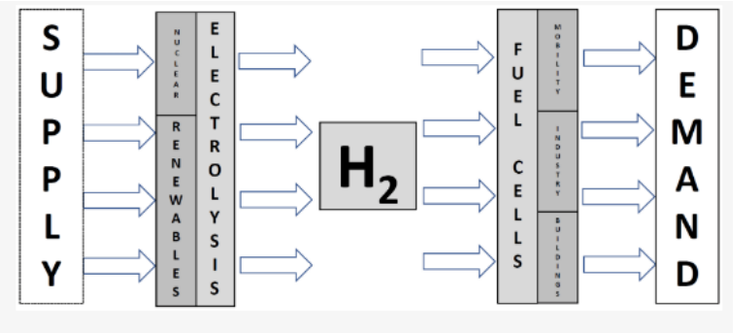
در یک پیل سوختی هیدروژنی معمولی، هزینه الکترودها را می توان با کاهش قابل توجه مقدار و دوام کاتالیزور پلاتین مورد نیاز برای کاربرد، به میزان قابل توجهی کاهش داد. این هزینه نیز مستقیماً با پشتیبانی و تأثیر آن بر فعالیت کاتالیزوری مرتبط است. سهم فناوری نانو در ایجاد پیشرفت بسیار ارزشمند بوده است. به عنوان مثال، استفاده از نانولوله‌های کربنی به عنوان الکترودهای مبتنی بر کاتالیزور به جای پودر کربن، کاهش مقدار پلاتین را ممکن می‌کند، که در مقایسه با سلول های سوختی سنتی غشایی تبادل پروتون (PEMFCs)[2] بیش از ۳/۲ برابر استفاده می‌شود. نانولوله‌های کربنی می توانند پیل سوختی را پایدارتر کنند [۱۱] و عملکرد مقاومت در برابر خوردگی بالاتری داشته باشند. علاوه بر این، آنها می‌توانند تشکیل اکسیدهای سطحی و جریان خوردگی را کاهش دهند.

یکی از امیدوارکننده ترین روش‌ها برای کاهش انتشار مختلف از فرآیندها استفاده از هیدروژن سبز نشان داده شده است. با وجود اینکه هیدروژن سبز با استفاده از منبع انرژی مشابه و با در نظر گرفتن انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از بهره‌برداری از فناوری‌های هیدروژن ایجاد می‌شود، نسبت به برق مبتنی بر انرژی حرارتی بسیار سازگارتر با محیط‌زیست است. اثربخشی فناوری‌های الکترولیز و H_2 متفاوت است. از منظر صرفاً فنی، فناوری‌های هیدروژن برای استفاده در تمام کاربردها و بخش‌های انرژی، از جمله برق، گرمایش، صنعت و حمل‌ونقل قابل استفاده هستند. به طور مشخص، یک نیروگاه ۱۲ مگاواتی با سوخت هیدروژن در ایتالیا با استفاده از یک توربین گازی سیکل ترکیبی و H_2 اصلاح شده با تولید تخمینی ۶۰ میلیون کیلووات ساعت در سال کار کرده است [۸ و ۱۱].

در برخی از کاربردهای صنعتی، هیدروژن قهوه‌ای مستعد صرفه‌جویی در انرژی بیشتر از هیدروژن سبز است، اما پیشرفت‌های پیشرونده راندمان در فناوری‌های الکترولیز، امید به گرایش پاک‌تر بر اساس فرآیند دوم را فراهم می‌کند. ترویج تحقیق و توسعه در روش‌های تولید و استفاده از هیدروژن قطعاً کلید افزایش مزایای زیست محیطی خواهد بود. شکل ۲ به صورت شماتیک نقش مرکزی هیدروژن را در زمینه تبدیل شار انرژی نشان می دهد. هیدروژن تولید شده توسط انرژی های تجدیدپذیر (هیدروژن سبز) از نظر جرم معادل CO_2 مفیدترین گزینه برای محیط زیست است. با فعال کردن تولید محلی انرژی حرارتی و الکتریسیته، فن‌آوری‌های

[1]Thin film solid oxide fuel cells (SOFC)
[2]Proton exchange membrane fuel cells (PEMFCs)

هیدروژن همچنین به عنوان مرکزی برای تولید غیرمتمرکز انرژی سبز عمل می‌کنند. این فناوری ها نشان دهنده کاهش بیش از ۱۰۰ درصدی در مقایسه با گاز طبیعی معمولی است.



شکل۲. طرح شار انرژی هیدروژن پاک. [۸].

۳. مواد و روش ها

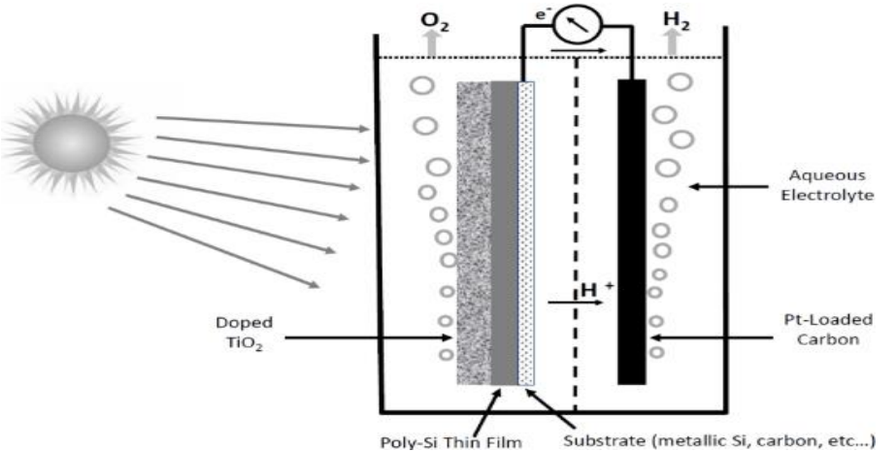
این روزها فناوری نانو بطور وسیع مورد توجه قرار گرفته است که نتیجه آن افزایش انتظارات در بین سرمایه گذاران، دولت ها و کسب و کارها علاوه بر جامعه دانشگاهی است. ظرفیت منحصر به فرد آن برای ایجاد ساختارهای جدید در سطح اتمی قبلاً منجر به ایجاد مواد و ابزارهای نوآورانه با طیف گسترده ای از کاربردهای بالقوه شده است. در میان آنها، پیشرفت های قابل توجهی به ویژه در بخش انرژی مورد نیاز است که به ما امکان می دهد مصرف انرژی فزاینده خود را حفظ کنیم، که هم با افزایش جمعیت و هم با تقاضای سرانه افزایش می‌یابد. انرژی خورشیدی، هیدروژن، باتری‌های نسل جدید و ابرخازن‌ها احتمالاً مهم‌ترین نمونه‌های مشارکت نانوتکنولوژی در بخش انرژی هستند. برخی از مشارکت‌های مهمی که پتانسیل یافتن راه‌حلی برای یکی از چالش‌های بزرگ زمان ما را دارند، می‌توان در اینجا ارائه کرد، یعنی تولید و استفاده از هیدروژن مبتنی بر انرژی سبز بدون به خطر انداختن محیط زیست ما و از یک حوزه هیجان‌انگیز و چند رشته‌ای، فناوری نانو. هیدروژن سبز مستقیماً از پیشرفت‌های فناوری نانو در انرژی‌های تجدیدپذیر (مانند برداشت انرژی خورشیدی یا توربین‌های بادی) و الکترولیزها یا سلول‌های سوختی سود می‌برد. هر دو سهم مهم هستند، به ویژه با توجه به اینکه بهبود بازده انرژی الکترولیزها منجر به صرفه جویی قاطع در این قلمرو می‌شود، که اشغال آن معمولاً برای سایر اکتشافات اقتصادی انسانی اولویت دارد[۱۲ و ۱۳].

از منبع تا مصرف کننده، خود هیدروژن ممکن است انرژی را حمل و ذخیره کند. برای انتقال موثر، منابع انرژی تجدیدپذیر موجود در طبیعت باید در درجه اول به برق تبدیل شوند. بعید به نظر می رسد که هیدروژن نیاز به تولید داشته باشد اما خوشبختانه، می توان آن را با استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر انجام داد و به راحتی با استفاده از فناوری پیل سوختی به انرژی تبدیل می‌شود. به همین دلیل، هیدروژن به عنوان یک بردار پرانرژی دیده می شود که پایه یک سیستم انرژی مستقل را آماده می کند. در نتیجه، سنتز مستقیم هیدروژن از منابع تجدیدپذیر در آینده پیش‌بینی می‌شود که تمام تلفات الکتریکی، حرارتی و مکانیکی را نفی می کند [۸].

۳-۱. تولید هیدروژن سبز

۳-۱-۱. تقسیم آب فوتوکاتالیستی

با قابلیت تغییر شکاف انرژی، افزودن اجزای نانوساختار به سلول‌های PV انعطاف‌پذیری را افزایش می‌دهد، مسیر نوری موثر را بهبود می‌بخشد و احتمال نوترکیبی بار را به شدت کاهش می‌دهد. نقاط کوانتومی نانوکریستالی، که نانوذراتی هستند که معمولاً از نیمه‌رساناهای مستقیم باند گپ ساخته می‌شوند، اخیراً فناوری PV را پیشرفته کرده‌اند و توسعه سلول‌های خورشیدی لایه نازک بر پایه سیلیکون یا لایه‌های اکسید شفاف رسانا با پوشش نانوکریستال را امکان‌پذیر کرده‌اند. نقاط کوانتومی و سیم‌های کوانتومی با توجه به توانایی آنها در گسیل چندین الکترون به ازای هر فوتون تابشی خورشیدی و اینکه طیف‌های جذب و نشر متمایزی بسته به اندازه و شکل ذرات دارند، ساطع کننده‌های موثر نور هستندکه می توانند با تنظیم طول موج تابش خورشیدی ورودی، کارایی را افزایش دهد. به نوبه خود، انرژی PV می‌تواند برای شکستن مولکول های آب به H_2 و O_2 از طریق الکترولیز فوتوکاتالیستی مورد استفاده قرار گیرد، که انرژی خورشیدی را قادر می سازد مستقیماً به شکل هیدروژن ذخیره شود. این فرآیند فوتوکاتالیستی تفکیک مولکولی آب نوع دیگری از فرآیند شکافتن (در دمای کمتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد) مانند الکترولیز، چرخه‌های ترموشیمیایی یا ترمولیز بر روی ساختارهای کربن معیوب است. برای این منظور می توان از انواع سیستم های نانوذرات کاتالیزور نیمه هادی مبتنی بر SiC، CdS، $CuInSe_2$ یا TiO_2 استفاده کرد، علی رغم اینکه به دلیل راندمان تبدیل پایین هنوز مقرون به صرفه نیستند. در واقع، تحت تابش فوتونیک، نانوذرات (به عنوان مثال، اکسید فلز نیمه رسانا در حد ۳۰ نانومتر) که بین لایه‌های پلیمری شفاف و رسانا قرار گرفته‌اند، می‌توانند قبل از انجام نوترکیبی الکترون–حفره، الکترون‌ها را از طریق پلیمر آزاد کرده و هدایت کنند. شکل ۳ طرح یک سیستم تقسیم آب خورشیدی را با استفاده از یک الکترود نیمه هادی مرکب نشان می‌دهد که در آن فضای اطراف نانوذرات توسط یک الکترولیت آبی پر می شود. با توجه به نمونه TiO_2، باند گپ آن ۳/۲ev است و فقط از نور UV می‌توان برای این منظور استفاده کرد [۸ و ۱۰].



شکل۳. سیستم تقسیم آب خورشیدی با استفاده از یک الکترود نمیه هادی مرکب[۸].

با این حال، عملکرد خوب سلول‌های فوتوکاتالیست توسط سرعت نوترکیبی جفت‌های الکترون/حفره تولید شده توسط عکس محدود می‌شود، که به طور کلی سریع است و به این ترتیب بازده تبدیل را کاهش می‌دهد. بهبود تحقیقات می تواند از کمپلکس های آلی فلزی طراحی شده استفاده کند. به عنوان مثال، موارد زیر در مجموعه‌ای با یک اتم رودیوم مرکزی و دو اتم روتنیوم محیطی (هر یک در مکان‌های متضاد) رخ می‌دهد: وقتی این دومی‌ها یک فوتون دریافت می‌کنند، رودیوم یک الکترون را به آب منتقل می‌کند و باعث شکافتن H_2 و O_2 می‌شود. نانو فوتوکاتالیز همچنین به تجزیه متان در دمای بالا به هیدروژن و کربن (که توسط فتوسنتز مصنوعی ایجاد شده است) گسترش یافته است. به هر حال، شایان ذکر است که علیرغم اینکه دستگاه‌های مبتنی بر فوتوکاتالیز نانو گزینه‌ای جذاب برای تولید مستقیم هیدروژن از یک منبع انرژی تجدیدپذیر اولیه هستند، اما عمدتاً برای کاربردهای کوچک یا محلی و نه چندان بزرگ جالب هستند زیرا فرآیندها به راحتی مقیاس پذیر نیستند [۸ و ۱۴].

۳-۱-۲. الکترولیز آب هیبریدی خورشیدی

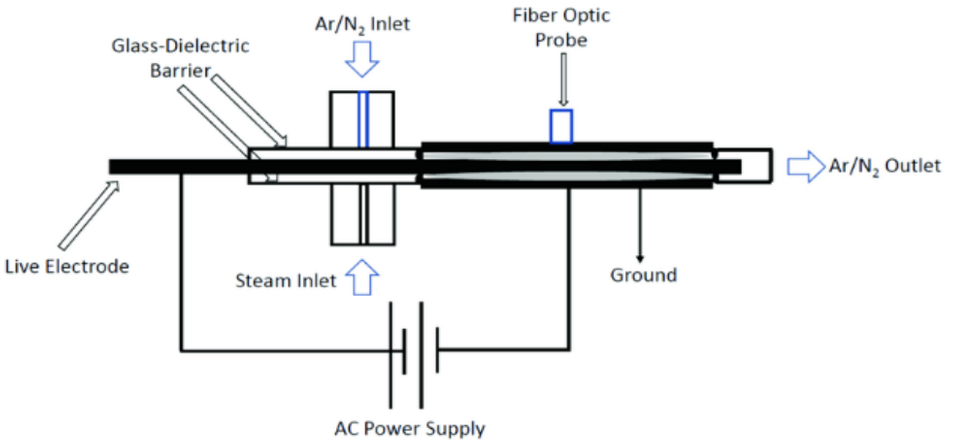
جفت شدن الکترولیزهای آب که توسط پانل‌های فتوولتائیک (یا توربین های بادی) تغذیه می‌شوند، جایگزین بهتری برای مقیاس پذیری است، اگرچه عمدتاً به دلیل کارایی پانل های PV (یا ژنراتورهای بادی) و عدم تطابق بین پانل‌ها (توربین‌های بادی) و الکترولایزر محدود شده است. یک ژنراتور تجدیدپذیر باید در نقطه حداکثر توان خود کار کند تا الکتریسیته را تا حد ممکن به الکترولیز منتقل کند (MPP). دمای ژنراتور و الکترولیت در اینجا تأثیر دارند. نقطه عملیاتی کل سیستم باید برابر با MPP ژنراتور خورشیدی باشد تا یک سیستم الکترولیز PV بتواند هیدروژن را به طور موثر تولید کند. این اغلب از طریق مبدل های DC/DC انجام می‌شود که ورودی الکترولیز را با خروجی ژنراتور خورشیدی مطابقت می‌دهد. گزینه دیگر تغییر نحوه پیکربندی ژنراتور خورشیدی یا الکترولایزر است [۱۵].

بنابراین، الکترولایزرهای آب که از منابع تجدیدپذیر تغذیه می‌شوند، بازده خالصی را نشان می‌دهند که از یک سو به راندمان منابع تجدیدپذیر و از سوی دیگر به راندمان الکترولیز وابسته است. این دیدگاه‌های امیدوارکننده‌ای را ارائه می‌دهد زیرا پیشرفت‌های فناوری نانو برای بهبود هر دو فناوری مستقل به تنهایی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نمونه‌های مختلف پیشرفت‌های قابل‌توجهی را در عملکرد توربین‌های بادی از طریق ترکیب نانومواد کامپوزیتی در ساخت تیغه‌های آسیاب بادی (مانند اپوکسی‌های پرشده با نانولوله‌های کربنی) تأیید می‌کنند، بنابراین پره‌های طولانی‌تر حاصل، میزان الکتریسیته تولیدی را افزایش می‌دهند. از سلول های خورشیدی پروسکایت نیز برای ایجاد برخی پیشرفت های چشمگیر در کارایی پنل های PV استفاده شده است. از سال ۲۰۰۹، زمانی که گزارش‌های مربوط به کارایی آنها ۳ درصد بود، آنها به موفقیت باورنکردنی دست یافتند و به سرعت آن را به بیش از ۲۵ درصد افزایش دادند. کارایی سلول های خورشیدی پروسکایت به سرعت افزایش یافته است، اما هنوز موانعی وجود دارد که می توان آنها را به عنوان یک فناوری تجاری قابل دوام در نظر گرفت. محدودیت شاکلی-کویسر را می توان با استفاده از سلول های خورشیدی چند پیوندی در آزمایش ها نادیده گرفت و امکان جذب و تبدیل فوتون ها را در طول موج وسیع تری بدون افزایش از دست دادن

گرمایی فراهم می کند [۱۶]. هنگامی که عملکردهای تضمین شده تجربی به محدودیت‌های بازدهی تحمیلی انرژی‌های تجدیدپذیر رسید، بدیهی است که گام مخرب بعدی در تولید هیدروژن این است که بتوان بازده الکترولیزهای فعلی را به میزان قابل توجهی افزایش داد. همچنین، به لطف کنترل بی‌سابقه بر اندازه، ساختار و سازمان‌دهی ماده، بسیاری از دانشمندان و نانومهندس‌ها به مواد جدید یا طرح‌های جدید دستگاه‌هایی با خواص فیزیکی یا شیمیایی منحصربه‌فرد دست می‌یابند که همین حالا به غلبه بر برخی چالش‌ها کمک می‌کند. به طور کلی، کارایی الکترولیز آب را می توان با افزایش سطح برای واکنش و کاهش انرژی مورد نیاز برای شکافتن مولکول های آب به دست آورد [۸ و ۱۷].

۳-۱-۳. کاتالیز پلاسما

علاوه بر این، یک جایگزین مناسب برای استفاده از الکترولیز بر اساس پیشرفت انجام شده با پلاسما و کاتالیز پلاسما است. تولید هیدروژن از طریق پلاسمولیز آب از هر دو دیدگاه نظری و تجربی مورد مطالعه قرار گرفته است. فرآیندهای جنبشی کلیدی که باعث شکست می‌شوند شناسایی شده‌اند. رحمان وهمکاران مدلسازی جنبشی تولید هیدروژن از پلاسمولیز بخار آب در ریزراکتورهای پلاسما را شرح دادند. میدان‌های الکتریکی بالا با ولتاژ نسبتاً پایین می‌توانند در ریزراکتورهای پلاسما برای تولید رادیکال‌های پرانرژی مانند H، OH و H_2O در میان دیگران، در فشار اتمسفر استفاده شوند. با دنباله ای از رویدادها، این گونه های فعال ترکیب می شوند تا در نهایت H_2 و O_2 تولید کنند. تخلیه‌های کرونا و تخلیه‌های سد دی‌الکتریک دو نوع پلاسمای فشار اتمسفر غیرحرارتی (DBD) هستند. تخلیه‌های کرونا غلظت بالایی از رادیکال‌ها را تولید می‌کنند، اما قدرت بسیار کمی دارند که برای تجزیه بخار آب ناخوشایند است. برای افزایش توان، ولتاژها را می توان افزایش داد. با این حال، انجام این کار باعث می شود که تاج به کمان تبدیل شود. با ایجاد تخلیه تاج در حالت تناوبی پالس یا با پوشاندن یک یا هر دو الکترود با مواد دی الکتریک می توان از ایجاد قوس الکتریکی جلوگیری کرد. جریان تخلیه را می توان کنترل کرد، از ایجاد قوس بین دو الکترود جلوگیری کرد و با افزودن یک لایه دی الکتریک می توان تخلیه همگن تولید کرد [۲۵]. برای غلبه بر این چالش‌ها و بهره‌مندی از غلظت رادیکال بالای تخلیه‌های کرونا و همگن بودن تخلیه پلاسما با توان بالاتر در DBD، راکتورهای هیبریدی DBD-corona مختلف توسعه یافته‌اند. علاوه بر این، پلاسمای بخار آب را می توان با استفاده از طیف سنجی انتشار نوری مشخص کرد، که می تواند وجود تعادل حرارتی غیرمحلی در حجم پلاسما را از طریق ترتیب ترتیبی دماهای مشخصه تایید کند (Te>Trot >Texc). یک طرح آزمایشی معمولی در شکل ۴ نشان داده شده است[۸].



شکل ٤. راکتور ساده DBD-corona [۸].

در نتیجه، استفاده از انرژی اضافی متناوب (مانند انرژی حاصل از منابع انرژی تجدیدپذیر) برای ذخیره این انرژی الکتریکی اضافی در قالب سوخت مایع ممکن است در نهایت به لطف زمان روشن شدن سریع پلاسما (یا ذخیره سازی هیدروژن) امکان پذیر شود. تبدیل گاز در مقیاس بزرگ به مقدار قابل توجهی انرژی نیاز دارد که فرآیند بهره وری انرژی را بسیار مهم می کند. بنابراین، اصلاح کاتالیزوری پلاسما باید هزینه های انرژی را تا حد امکان به شدت کاهش دهد. کاتالیز پلاسما از طریق واکنش های بسیار سریع و با حداقل تولید زباله در مقایسه با سنتز شیمیایی انجام می شود. پلاسماها همچنین از نظر سرعت آماده‌سازی کاتالیزورهای درگیر، نیاز به انرژی کم، تولید گونه‌های فعال پراکنده، و همچنین افزایش گزینش پذیری و طول عمر کافی کاتالیزور دارای مزایایی هستند. علاوه بر این، کاتالیزور را می توان از طریق پردازش پلاسما هم در مرحله سنتز کاتالیزور و هم در مرحله پیش تصفیه کاتالیزور فعال کرد. زمانی که اندازه نانوذرات تابعی از شدت تخلیه باشد، می‌توان از تخلیه برای کاهش دمای پیش تصفیه استفاده کرد و در عین حال نانوذرات کوچک‌تری را با بهبود قابل توجهی در پراکندگی تولید کرد[۸ و ۱۸].

۳-۲. بهبود ذخیره سازی هیدروژن

یافتن یک فناوری ایمن و نه پرهزینه که بتواند تا حد امکان انرژی کمتری را برای ذخیره و تحویل هیدروژن صرف کند، موضوعی است که در حال حاضر بسیاری از آزمایشگاه‌های تحقیقاتی در سراسر جهان را درگیر می‌کند. علیرغم وجود فناوری های ایجاد شده برای کاربردهای صنعتی، هیدروژن مایع و فشرده نیاز به مصرف انرژی و اقدامات کافی برای رفع مشکلات در فشار بالا (تا ۱۰۰ مگاپاسکال) و دمای پایین (حدود ۲۰ کلوین) دارد. به جای نیاز به فشار هیدروژن بالا و دماهای برودتی، ذخیره هیدروژن در مواد مناسب می تواند منجر به روشی قابل حمل و مطمئن تر شود. استفاده از جامدات ذخیره‌سازی هیدروژن به عنوان اجزای فعال و برای استفاده در پیل‌های سوختی موضوع مطالعات متعددی بوده است. در حال حاضر، یکی از مؤثرترین روش‌ها برای ذخیره‌سازی مولکول‌های سبک و کوچک هیدروژن، جذب هیدروژن، جذب شیمیایی یا جذب فیزیکی است. تکنیک‌های جذب شیمیایی دارای اشکالی هستند که آنها را خیلی محکم می‌بندند، و سیستم ذخیره‌سازی باید در دمای بالای اتاق ($T>۴۰۰K$) برای تخلیه عمل

کند در حالی که شارژ مجدد بسیار گرمازا است. از طرف دیگر، با جذب فیزیکی، معمولاً جذب قابل توجهی در دماهای زیر ۱۰۰ کلوین حاصل می شود و مقادیر معمولی به دست آمده حدود $۵۰gH_۲/Kg$ کربن فعال در دمای ۱۹۰- درجه سانتی گراد تحت فشار ۶ مگاپاسکال است. با کوچک کردن مواد جاذب به یک محدوده اندازه نانو در هر دو موقعیت، سینتیک جذب هیدروژن را می توان افزایش داد. مواد مزپور دارای سطح بالایی (معمولاً بیش از $۱۰۰۰ m^۲/gr$) و اندازه و شکل منافذ تنظیم شده هستند. در نتیجه، نانومواد‌ی که معیارهای مساحت سطح بالا، اندازه و شکل منافذ متناسب، ظرفیت ذخیره‌سازی بالا، دفع کنترل‌شده و ایمنی را برآورده می‌کنند، می‌توانند برای تولید قابلیت‌های جذب هیدروژن بالا مورد استفاده قرار گیرند. بسیاری از مواد نانومتخلخل سطح بالا عمدتاً در گروه‌های مبتنی بر عناصر ساده (نانو کربن‌ها، نانوبورن‌ها) و چارچوب‌های فلزی-آلی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. این پیشرفت فناوری نانو به دنبال چندین دهه تحقیق توسط چندین نویسنده در مورد کربن‌های فعال است، جایی که فقط بخش کوچکی از منافذ آن‌قدر کوچک هستند که به طور قابل‌توجهی با مولکول‌های هیدروژن در فاز گاز تعامل داشته باشند. بنابراین، کربن‌های فعال به عنوان مواد ذخیره‌سازی هیدروژن بی‌فایده بوده‌اند. جذب فیزیکی هیدروژن بر روی کربن فعال با توزیع اندازه منافذ تنظیم شده و شیمی سطح مناسب، امکانات جدیدی برای ذخیره موثر هیدروژن هستند. سایر نانوساختارهای کربنی مانند نانولوله‌های کربنی، نانوالیاف گرافیت و نانوذرات گرافیت جایگزین‌های متخلخل اضافی برای کربن فعال هستند. نانولوله‌های کربنی (هم MWCNT[1] و هم SWCNT[2]) کاندیدهای مناسبی برای ذخیره‌سازی هیدروژن هستند و مکانیسم‌های مختلف جذب فیزیکی و شیمیایی هیدروژن روی نانولوله‌ها برای توصیف این فرآیندها پیشنهاد شده‌اند. حداکثر درجه هیدروژناسیون SWNT به قطر نانولوله بستگی دارد و برای مقادیر قطر حدود ۰/۲ نانومتر، کمپلکس های نانولوله-هیدروژن با نزدیک به ۱۰۰ درصد هیدروژناسیون وجود دارند و در دمای اتاق پایدار هستند. این مربوط به حدود ۱۰ درصد وزنی از ظرفیت ذخیره هیدروژن سطح SWNT خارجی است. همچنین، شایان ذکر است که نانومواد با ظرفیت ذخیره هیدروژن بالا از طریق اصلاح نانوالیاف کربنی بسیار متخلخل (مساحت سطح ۲۰۰۰ مترمربع بر گرم) با نانوذرات نیکل به دست آمده اند. نانولوله های کربنی مزایای چگالی کم را با مقاومت مکانیکی بالا، اینرسی شیمیایی و فشردگی ترکیب می کنند. بیشتر هیدروژن جذب شده در شرایط فشار و دما در اتاق آزاد می شود[۸و ۱۹ و ۲۰].

با در نظر گرفتن ایمنی و هزینه، آلیاژهای فلزی ($ZrV_۲$، $Mg_۲Ni$، PdRh، FeTi، $LaNi_۵$) یا هیدریدهای فلزی (PdHx، $MgH_۲$) عملکرد خوبی برای ذخیره سازی هیدروژن در مقایسه با روش های معمولی (مایع برودتی یا گاز فشرده) از خود نشان می دهند. این سیستم ها بسته به جرم فلز یا آلیاژ ظرفیت ذخیره سازی قابل مقایسه با هیدروژن مایع یا هیدروژن تحت فشار دارند، زیرا اتم های هیدروژن در داخل شبکه فلزات یا آلیاژها قرار دارند. قبل از اینکه هیدروژن مولکولی دوباره پس از حرارت دادن اضافی آزاد شود، فلز، $H_۲$ را به اتم های H تقسیم می‌کند. $MgH_۲$ یک هیدرید با دمای بالا است که بر اساس تجزیه و تحلیل وزنی ۰/۰۷ کیلوگرم هیدروژن در هر کیلوگرم فلز ذخیره می‌کند. سایت‌های مربوط به سطح یا رابط در سیستم های کوچک اهمیت حیاتی

[1]multiple walled carbon nanotubes
[2]Single-walled carbon nanotubes

دارند و می توانند حلالیت کلی هیدروژن را تغییر دهند. از این رو، تمرکز زیادی بر روی تحقیقات دفع حرارتی و کالیبراسیون برای بهبود خواص جنبشی ذخیره‌سازی هیدروژن در محیط جامد شده است. بر خلاف تعیین ایزوترم های جذب ایستا، طیف سنجی دفع حرارتی دقت منصفانه را در نظارت بر هیدروژن جذب شده در مواد جامد تضمین می کند و برای نظارت بر تکامل هیدروژن پس از اعمال یک رمپ حرارتی ایده‌آل است. شناسایی گونه‌های گاز توسعه‌یافته از طریق طیف‌سنجی جرمی امکان‌پذیر می‌شود، جایی که داده‌های مربوط به دمای دفع اطلاعاتی در مورد انرژی اتصال مولکول‌های جذب‌شده ارائه می‌دهند، که بسته به نوع ماده جاذب/سطح تغییر می‌کند. یافتن محیط ذخیره‌سازی فعال هیدروژنی مبتنی بر مونتاژ نانو کربن با وزن کم و عملکرد خوب هدف دیگر است. در جدول ۱، عملکرد نسبی چند الکترود مبتنی بر مونتاژ نانومواد کربنی برای مقایسه انتخاب شد. روش طیف سنجی دفع حرارتی پرتو مولکولی اخیراً توسعه یافته (MB-TDS) برای این منظور استفاده شده است. با برخی از مزایا، این روش برای تشخیص هیدروژن آزاد شده توسط کمترین مقادیر نمونه جامد ایجاد شد. ارزیابی دقیق جرم هیدروژن جذب شده بر روی یک نمونه جامد به لطف MB-TDS به طور قابل توجهی بهبود یافته است (توجه داشته باشید که این تغییر دفع حرارتی جدید بر اساس یک پرتو مولکولی پراکنده است). بهبود ۲۰ درصدی در نسبت سیگنال به نویز برای ردیابی هیدروژن وجود دارد و کالیبراسیون قبلی با استفاده از استاندارد شیمیایی ضروری نیست. جدول ۱ برخی از مقادیر تجربی معمول برای جذب هیدروژن در چندین جامد متخلخل در فشار معمولی را با استفاده از MB-TDS نشان می‌دهد[۸].

جدول ۱. مقادیر آزمایشی معمول جذب هیدروژن برای جامدات متخلخل مختلف در فشار معمولی [۸]

Material	Temperature	Loading
Activated Carbon	77 K	2.5 wt%
Activated Carbon	298 K	1.1 wt%
Graphitic Nanofibers	300 K	6.2 wt%
Al-MOFs	77 K	5.1 wt%
BN nanoparticles	291 K	4.9 wt%
SWCNTs	298 K	4.5 wt%
MWCNTs	293 K	4.1 wt%
CNTs + Li, K	300 K	9.5 wt%
CNTs + Pd	298 K	8.3 wt%
SWCNTs + Ti	300 K	8.1 wt%
MWCNTs + Pd	298 K	0.5 wt%
Graphene sheets + Pt	303 K	1.6 wt%

٤. بحث و نتیجه‌گیری

ارتباط پلاسما با فناوری نانو، به خودی خود، پتانسیلی برای افزایش قابل توجه بهره وری انرژی فرآیندهای مورد نیاز برای کاهش آلودگی و انتشار گازهای گلخانه ای (خواه استفاده از انرژی های تجدیدپذیر به عنوان ورودی یا نه) ارائه می دهد. استفاده مطلوب از انرژی های تجدیدپذیر در تامین انرژی راکتورهای پلاسما به تضمین پایداری کامل انرژی، اقتصادی و زیست محیطی کمک می کند. تجهیزات آزمایشگاهی امکان تعیین مقادیر کمی از هیدروژن جذب شده در یک محیط جامد را فراهم می کند، که در افزایش بهره‌وری انرژی در مقایسه با روش‌های جایگزین ذخیره هیدروژن اهمیت زیادی دارد. همچنین، توسعه و/یا بهبود تکنیک‌های الکتروکاتالیز یا کاتالیز پلاسما مستلزم ایجاد نانوذرات مناسب است. با این هدف، تجزیه مخلوط‌های گازی القا شده با لیزر پالسی در یک راکتور جریان تضمین شد، که در آن نانوذرات تشکیل‌شده پس از تجزیه در اثر حرارت لیزر توسط گرانش در یک فیلتر جمع‌آوری می‌شوند. برای بهره برداری کامل از این پتانسیل، درک اساسی از اثرات پلاسما بر کاتالیزور و دانش چند رشته ای از پدیده هایی که در پلاسما و در رابط پلاسما-کاتالیزور رخ می دهند مورد نیاز است. در یک روش ترکیبی پلاسما و کاتالیزور، راکتورهای پلاسمای غیر حرارتی که گونه‌های واکنش‌پذیر را از طریق گسیل فوتون‌ها تولید می‌کنند، می‌توانند فرآیندهای کاتالیزوری را آغاز کنند. این ممکن است عملکرد را در یک فضای فشرده، در دمای اتاق، با یا بدون کاتالیزور، و با هزینه‌های نگهداری کم امکان‌پذیر کند. راکتورهای پلاسمای غیر حرارتی از طریق گسیل فوتون ها گونه های واکنشی تولید می کنند و این نقاط داغ حرارتی می توانند واکنش های کاتالیزوری را هنگامی که پلاسما با کاتالیزور ترکیب می شود آغاز کنند. این کار می‌تواند در دمای اتاق، با یا بدون کاتالیزور، در فضای کوچک و با هزینه نگهداری کم امکان‌پذیر باشد. برخی از نانوساختارهای کربنی پتانسیل افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی هیدروژن در حالت جامد را دارند و به عنوان کاتالیزورهای متکی بر کربن، که همراه با نانوذرات کاتالیزور فلزی، امکان تسریع در تولید سوخت‌های ساده را فراهم می‌کنند. برخی دیگر از نویسندگان نانوذرات آلیاژ AgPd بارگذاری شده بر روی $N-ompg-C_3N_4$ را با فعالیت کاتالیزوری و پایداری قابل توجهی برای تولید هیدروژن با موفقیت سنتز کردند [۸]. پیشرفت‌های نانوتکنولوژی در استفاده از مواد حالت جامد برای ذخیره‌سازی هیدروژن یک حوزه تحقیقاتی کاملاً فعال است که پیشرفت‌های اخیر هرگز ما را شگفت‌زده نمی‌کند.

٥. مراجع

[1] Zacarías, N. V. O., Bemelmans, M. P., Handel, T. M., de Visser, K. E., & Heitman, L. H. (2021). Anticancer opportunities at every stage of chemokine function. *Trends in pharmacological sciences*, *42*(11), 912-928.

[2] Feigl, F. F., Stahringer, A., Peindl, M., Dandekar, G., Koehl, U., Fricke, S., & Schmiedel, D. (2023). Efficient Redirection of NK Cells by Genetic Modification with Chemokine Receptors CCR4 and CCR2B. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(4), 3129.

[3] Ewees, A. A., Abualigah, L., Yousri, D., Algamal, Z. Y., Al-Qaness, M. A., Ibrahim, R. A., & Abd Elaziz, M. (2022). Improved Slime Mould Algorithm based on Firefly Algorithm for feature selection: A case study on QSAR model. *Engineering with Computers*, *38*(3), 2407-2421.

[4] Mozafari, Z., Arab Chamjangali, M., Arashi, M., & Goudarzi, N. (2021). Performance of smoothly clipped absolute deviation as a variable selection method in the artificial neural network-based QSAR studies. *Journal of Chemometrics*, *35*(5), e3338.
[5] Triolascarya, K., Septiawan, R. R., & Kurniawan, I. (2022). QSAR Study of Larvicidal Phytocompounds as Anti-Aedes Aegypti by using GA-SVM Method. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, *6*(4), 632-638.
[6] Pramana, I. K. A. P. P., Septiawan, R. R., & Kurniawan, I. (2022). QSAR Study on Diacylgycerol Acyltransferase-1 (DGAT-1) Inhibitor as Anti-diabetic using PSO-SVM Methods. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, *6*(5), 735-741.
[7] Mao, S.S., Shen, S., Guo, L., 2012, Nanomaterials for renewable hydrogen production, storage and utilization. Progress in Natural Science: Materials International, 22 (6), 522-534.
[8] Lobo, R.F.M., 2023, A Brief on Nano-Based Hydrogen Energy Transition. Hydrogen, 4, 679-693.
[9] Braun, R.J., Kazempoor, P., 2013, Application of SOFCs in combined heat, cooling and power systems. In Solid Oxide Fuel Cells: From Materials to System Modeling; The Royal Society of Chemistry: Washington, DC, USA, 2013; pp. 327–382.
[10] Singh, A.; Baredar, P. 2020, Solid Oxide Fuel Cells: Opportunities for a clean energy future. In Low Carbon Energy Supply Technologies and Systems; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2020; p. 9.
[11] Rood, J. A., Noll, B. C., Henderson, K. W., 2006, Synthesis, Structural Characterization, Gas Sorption and Guest-Exchange Studies of the Lightweight, Porous Metal−Organic Framework α-[Mg3(O2CH)6]. Inorg. Chem., 45, 5521.
[12] Malode, S. J., Prabhu, K. K., Shetti, N. P., 2020, Electrocatalytic behavior of a heterostructured nanocomposite sensor for aminotriazole. New J. Chem, 44(44), 19376-19384.
[13] Zhao Z., Zheng J., Wang M., Zhang H. & Han C. C., 2012, High performance ultrafiltration membrane based on modified chitosan coating and electrospun nanofibrous PVDF scaffolds. J. Membr. Sci., 394–395, 209–217.
[14] Li, Y., Liu, H., 2021, Grand canonical Monte Carlo simulation on the hydrogen storage behaviors of the cup-stacked carbon nanotubes at room temperature. Int. J. Hydrogen Energy, 46, 6623–6631.
[15] Siegel, A., Schott, T., 1988, Optimization of photovoltaic hydrogen production. Int. J. Hydrogen Energy, 13, 659–675.
[16] Jamiati, M., 2021, A Novel Formulation for Optimal Placement of Diesel/Wind/PV in Distribution System by Honey-Bee Mating Optimization Algorithm. International Journal of Smart Electrical Engineering, 10(2), 99-103.
[17] Jalali Sarvestani, M. R., Ahmadi, R., 2024, A Computational Study on 3-Picrylamino-1,2,4-triazole Adsorption on the Surface of Carbon Nanocone. The Application of Chemistry in Environment, 14(55), 33–40.
[18] Rahnama, A., Zepon, G., Sridhar, S., 2019, Machine learning based prediction of metal hydrides for hydrogen storage, part I: prediction of hydrogen weight percent. Int. J. Hydrogen Energy, 44, 7337-7344.
[19] Jamiati, M., Mehdipour, K. P., 2020, The calculation of total fragment excitation energy for photofission of Uranium isotopes. Turkish Journal of Physics, 44(4), 364–372.
[20] Lv, P., Xie, D., Zhang, Z., 2018, Magnetic carbon dots based molecularly imprinted polymers for fluorescent detection of bovine hemoglobin. Talanta, 188, 145-151.

Increasing the capabilities of energy production and storage using nano technology

Mojtaba Jamiati[1]*

[1]*Department of Physics, Naragh Branch, Islamic Azad University, Naragh, Iran*

Submited: 24 November 2023, Revised: 11 February 2024, Accepted: 03 March 2024

Abstract

Considering the ever-increasing energy consumption, the reduction of fossil fuel resources and environmental issues such as the excessive emission of greenhouse gases that have caused global warming, finding new sustainable energy sources as unlimited, free, biocompatible and available resources The best solution is the future of mankind. Today, paying attention to renewable energies such as solar energy, wind, water and waves, biomass, fuel cell and hydrogen in the energy portfolio of countries has special importance. Therefore, for such a challenge, a cost-effective solution should be provided by using available combinations and resources. Fuel cells are a very suitable option, in a fuel cell, the chemical energy in the fuel is converted into electrical energy, the hydrogen molecule is one of the suitable fuels for hydrogen-oxygen fuel cells due to its high energy density and also as a clean fuel. This element, which is the most abundant element on the planet and constitutes more than 90% of all known substances, can be known as the most feasible renewable resource available. However, hydrogen production using electrolysis to split water into hydrogen and oxygen has limitations for mass consumption, and activists in this field have faced challenges. In this article, the method of hydrogen production and its limitations will be examined, as well as the role that nanotechnology can play in solving this problem.

Keywords: *nano technology, energy, fuel cell, environment, hydrogen.*