

هیدروژن، جایگزین سوخت‌های فسیلی با کمک پروسکایت‌های دوگانه

رشد جمعیت، توسعه صنایع و پیشرفت فناوری موجب افزایش مستمر تقاضا برای انرژی در سراسر جهان شده است. در حال حاضر، بخش عمده این تقاضا همچنان از طریق سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی تأمین می‌شود. با این وجود، محدود بودن ذخایر این منابع و افزایش هزینه‌های استخراج و بهره‌برداری از آنها، ضرورت حرکت به سمت منابع جایگزین و پایدار انرژی را بیش از گذشته آشکار ساخته است. از این رو، انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل دسترسی پذیری، پایداری و سازگاری بیشتر با محیط زیست، به یکی از ارکان اصلی سیاست‌های انرژی در بسیاری از کشورها تبدیل شده‌اند و سهم آنها در تأمین انرژی جهانی به طور پیوسته در حال افزایش است.



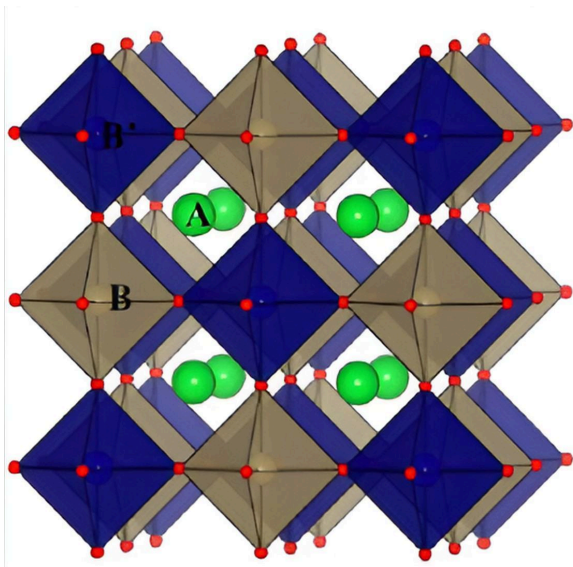
نویسنده: محیاصادقی‌نیا

انتخاب روش مناسب به عواملی مانند هزینه تولید، بازده فرآیند، میزان انتشار آلاینده‌ها و دسترسی به منابع اولیه بستگی دارد. از این رو، توسعه فناوری‌هایی که ضمن کاهش هزینه‌های تولید، آثار زیست‌محیطی کمتری داشته باشند، از مهم‌ترین اهداف پژوهش‌های این حوزه به شمار می‌رود. در میان فناوری‌های موجود، اصلاح بخار متان به دلیل بازده بالا و صرفه اقتصادی، همچنان رایج‌ترین روش تولید هیدروژن در مقیاس صنعتی محسوب می‌شود. در مقابل، الکترولیز آب به‌ویژه در صورت استفاده از برق حاصل از منابع تجدیدپذیر، روشی پاک و پایدار برای تولید هیدروژن به‌شمار می‌آید و به همین دلیل در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است.

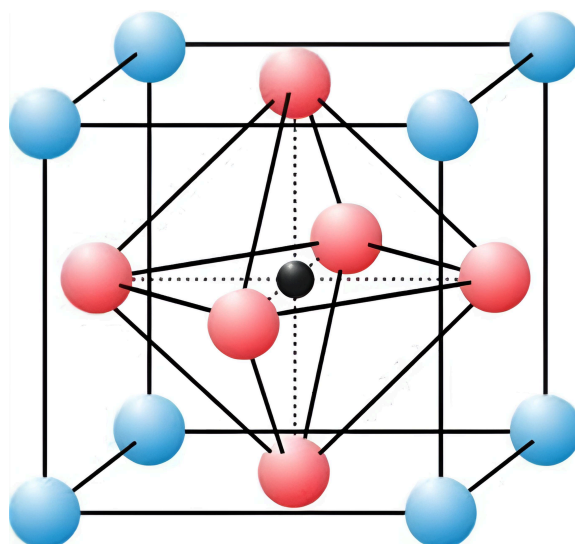
تولید می‌شود و انتشار مستقیم کربن دی اکسید رخ نمی‌دهد. از این رو، توسعه فناوری‌های مبتنی بر هیدروژن می‌تواند نقش مؤثری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بهبود کیفیت محیط زیست و حرکت به سوی سامانه‌های انرژی پایدار ایفا کند. با وجود ظرفیت بالای هیدروژن برای ایفای نقش در سامانه‌های انرژی آینده، گسترش استفاده از این حامل انرژی مستلزم رفع چالش‌های فنی و اقتصادی متعددی است. یکی از مهم‌ترین این چالش‌ها، مدیریت مراحل پس از تولید، به‌ویژه انتقال، توزیع و ذخیره‌سازی ایمن و کارآمد هیدروژن است. به دلیل ویژگی‌های فیزیکی این عنصر، توسعه فناوری‌های مناسب برای ذخیره‌سازی و جابه‌جایی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و همچنان یکی از محورهای اصلی پژوهش‌ها در حوزه انرژی هیدروژنی محسوب می‌شود. هیدروژن را می‌توان از طیف گسترده‌ای از منابع اولیه و با استفاده از فناوری‌های مختلف تولید کرد. به طور کلی، روش‌های تولید این حامل انرژی به سه دسته اصلی شامل فرآیندهای مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، انرژی هسته‌ای و منابع انرژی تجدیدپذیر تقسیم می‌شوند.

همزمان با تشدید نگرانی‌ها درباره پیامدهای زیست‌محیطی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی، دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی راهبردهای متعددی را برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و توسعه فناوری‌های کم‌کربن اتخاذ کرده‌اند. در این چارچوب، هیدروژن به دلیل پاک بودن، قابلیت تولید از منابع گوناگون و نقش آن به‌عنوان یک حامل انرژی، به یکی از مهم‌ترین گزینه‌ها برای تحقق سامانه‌های انرژی پایدار و کاهش انتشار آلاینده‌های کربنی تبدیل شده است.

در سال‌های اخیر، هیدروژن به‌عنوان یکی از امیدبخش‌ترین حامل‌های انرژی، جایگاه ویژه‌ای در میان فناوری‌های نوین انرژی پیدا کرده است. ویژگی‌هایی نظیر آلاینده‌گی بسیار کم، قابلیت تولید از منابع مختلف و امکان استفاده در بخش‌های گوناگون از جمله حمل‌ونقل، تولید برق و صنایع، موجب شده است که هیدروژن به یکی از گزینه‌های اصلی برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی تبدیل شود. علاوه بر این، در فرآیند مصرف هیدروژن، آب به‌عنوان محصول اصلی



چشم‌انداز آینده پژوهش‌ها در این حوزه بر طراحی نسل جدید دابل پروسکایت‌های بدون سرب، توسعه نانودابل پروسکایت‌ها، ساخت کامپوزیت‌های مبتنی بر دابل پروسکایت و بهره‌گیری از روش‌های محاسباتی پیشرفته و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی ترکیب‌هایی با عملکرد بهینه متمرکز است. انتظار می‌رود هم‌افزایی میان مهندسی ساختار، کنترل نقص‌های بلوری و اصلاح سطح، منجر به تولید دابل پروسکایت‌هایی با ظرفیت ذخیره‌سازی بالاتر، سینتیک سریع‌تر جذب و واجذب و پایداری چرخه‌ای بهتر شود. اگرچه هنوز چالش‌هایی نظیر افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی در شرایط عملیاتی، کاهش انرژی فعال‌سازی و بهبود رسانایی یونی و الکترونی وجود دارد، اما شواهد منتشر شده در مقالات سال‌های اخیر نشان می‌دهد که دابل پروسکایت‌ها به دلیل قابلیت تنظیم گسترده خواص فیزیکی و شیمیایی، یکی از امیدبخش‌ترین گزینه‌ها برای توسعه سامانه‌های ذخیره‌سازی هیدروژن در فناوری‌های انرژی پاک و اقتصاد هیدروژنی آینده به‌شمار می‌روند.



از دیدگاه فیزیکی، هیدروژن دارای چگالی انرژی جرمی بسیار بالایی است، اما چگالی انرژی حجمی آن در شرایط محیطی پایین است. این ویژگی موجب می‌شود که ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل هیدروژن در مقایسه با بسیاری از سوخت‌های متداول با چالش‌های فنی بیشتری همراه باشد و توسعه فناوری‌های نوین ذخیره‌سازی را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر تبدیل کند.

در این میان، ترکیب‌های پروسکایتی به دلیل انعطاف‌پذیری ساختاری، پایداری شیمیایی مناسب، قابلیت اصلاح ترکیب شیمیایی و خواص فیزیکی و الکتروشیمیایی مطلوب، توجه بسیاری از پژوهشگران را به خود جلب کرده‌اند. این ویژگی‌ها سبب شده‌است که پروسکایت‌ها به‌عنوان گزینه‌هایی امیدبخش برای استفاده در سامانه‌های ذخیره‌سازی هیدروژن و سایر کاربردهای مرتبط با فناوری‌های نوین انرژی مورد بررسی قرار گیرند.

ساختار پروسکایت نخستین بار در سال ۱۸۳۹ و با شناسایی کانی کلسیم تیتانات در کوه‌های اورال معرفی شد. این کانی که پیش‌تر به افتخار کانی‌شناس روس، لو پروفسکی نام‌گذاری شده بود، مبنای نام‌گذاری گروهی از ترکیب‌های بلوری با ساختار مشابه قرار گرفت. امروزه تمامی ترکیباتی که از آرایش بلوری مشابه این کانی و فرمول عمومی ABX_3 پیروی می‌کنند، در دسته مواد پروسکایتی طبقه‌بندی می‌شوند.

پروسکایت‌های دوگانه در مقایسه با پروسکایت‌های ساده، از انعطاف‌پذیری ساختاری بیشتری برخوردار هستند که این ویژگی عمده‌تاً ناشی از حضور دو کاتیون متفاوت در جایگاه B شبکه بلوری است. در این گروه از مواد، ساختار کلی به‌گونه‌ای است که دو کاتیون با ماهیت یا ظرفیت متفاوت به‌صورت منظم در جایگاه‌های B و B' آرایش می‌یابند، درحالی‌که در برخی ترکیب‌ها، جایگاه A نیز می‌تواند به‌طور هم‌زمان به‌وسیله دو نوع کاتیون اشغال شود. این تنوع در آرایش کاتیونی، امکان کنترل و تنظیم دقیق‌تر ساختار الکترونی، توزیع بار و برهم‌کنش‌های میان یون‌ها را فراهم می‌کند. در نتیجه، پروسکایت‌های دوگانه نسبت به ساختارهای ساده، قابلیت بیشتری برای بهینه‌سازی خواص نظیر هدایت الکتریکی، رفتار مغناطیسی، فعالیت کاتالیستی و عملکرد الکتروشیمیایی دارند. به همین دلیل، این خانواده از مواد در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از گزینه‌های امیدبخش برای کاربرد در سامانه‌های تبدیل و ذخیره‌سازی انرژی، به‌ویژه ذخیره‌سازی هیدروژن، مورد توجه گسترده پژوهشگران قرار گرفته‌اند.

منابع:

