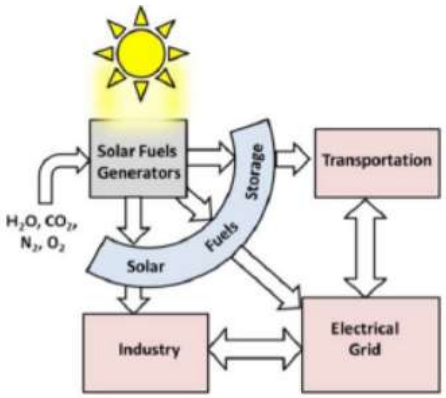
پژوهشگاه نیرو
Niroo Research Institute

NRI-ER-658-PRPPN04-99-F

مطالعه در مورد سامانه‌های نوین انرژی خورشیدی در حوزه‌های برق، انرژی و آب



نام مدیر پروژه: دکتر محسن سلیمی

نام مجری: دکتر حمید عبدلی

DOI: 10.30503/nripress.2020.215


بسم الله الرحمن الرحيم

جمع‌آوری مستندات در مورد سامانه‌های نوین انرژی خورشیدی
و بررسی کاربردهای این سامانه‌ها

مدیر پروژه:

دکتر محسن سلیمی

همکار/همکاران پروژه:

دکتر محسن سلیمی

مجری:

دکتر حمید عبدلی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۳۹۹

کد گزارش: *NRI-ER-658-PRPPN04-99-F*

DOI: 10.30503/nripress.2020.215

ایران. وزارت نیرو. پژوهشگاه نیرو. اداره برنامه‌ریزی پژوهشی

مطالعه در مورد سامانه‌های نوین انرژی خورشیدی در حوزه‌های برق، انرژی و آب/ محسن سلیمی. کارفرما: پژوهشگاه نیرو، ۱۳۹۹.

۴۱ ص.: مصور، نمودار، جدول

۱. عبدلی، حمید، مجری. ۲. حامل انرژی تجدیدپذیر. ۳. انرژی خورشیدی

انتشارات پژوهشگاه نیرو

اداره برنامه‌ریزی پژوهشی

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران،شهرک‌غرب،انتهای‌بلوارشهیددادمان،پژوهشگاه‌نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳

تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱

نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶

وبگاه: ***www.nri.ac.ir***

پست الکترونیک انتشارات: ***publications@nri.ac.ir***

بسمه تعالی

شماره:
تاریخ:
پیوست:

فرم تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب محسن سلیمی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این گزارش حاصل کار پژوهشی اینجانب و همکاران به شرح زیر است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

همکاران :

۱. دکتر محسن سلیمی

DOI:10.30503/nripress.2020.215

فهرست مطالب

فصل اول. مقدمه ۱

فصل دوم. سوخت خورشیدی ۵

فصل سوم. تبخیر خورشیدی ۲۱

فصل چهارم. نتایج ۳۳

مراجع ۳۵

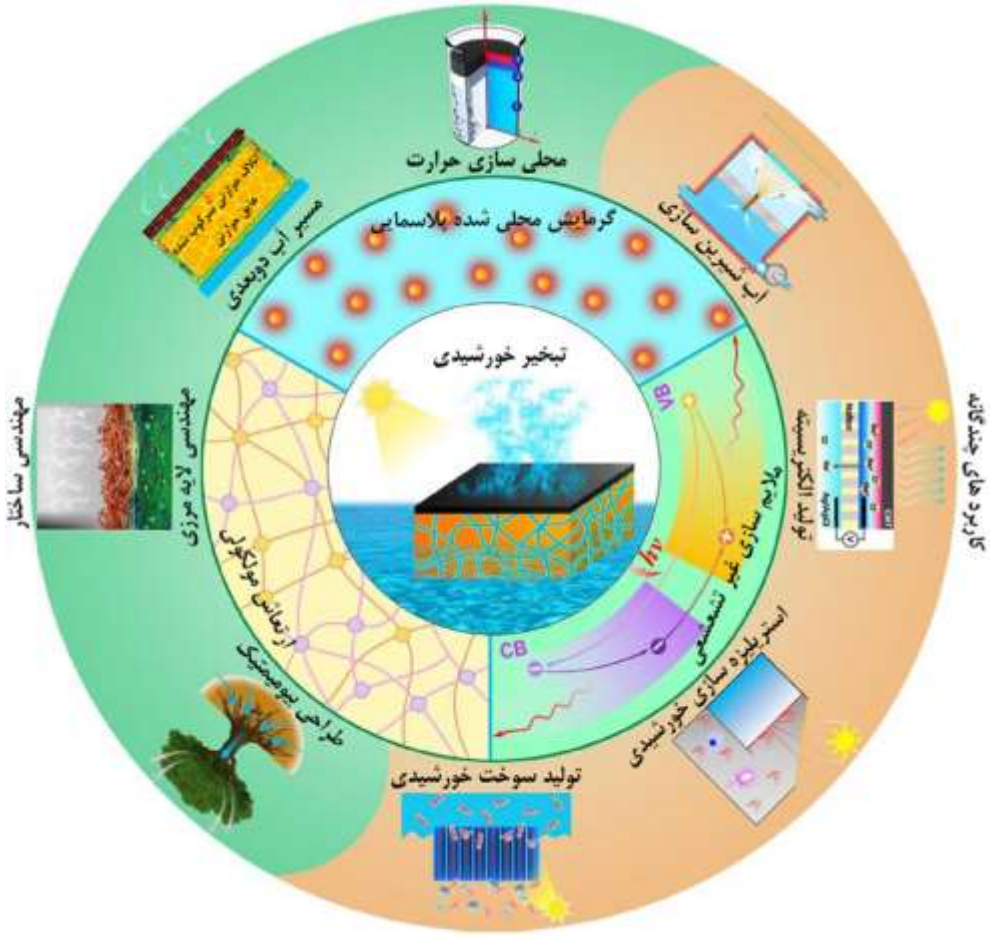
DOI:10.30503/nripress.2020.215

فصل اول. مقدمه

الف) تبخیر خورشیدی

تبخیر خورشیدی فناوری باستانی است که توجه عظیمی را به علت فراوانی انرژی خورشیدی، منابع آب، و پیشرفت قابل توجه بازدهی تبدیل که با کمک مواد فوتوترمال، مدیریت حرارت و طراحی‌های سیستم گرمایشی لایه‌ای در سال‌های اخیر ممکن شده است را به خود جلب کرده است. تبخیر خورشیدی فناوری جذابی است که که دو منابع فراوان روی زمین را ترکیب می‌کند: انرژی خورشیدی و آب. این فناوری کاربردهای مختلفی در تولید برق، تصفیه آب آلوده، آب‌شیرین‌سازی، استرلیزه‌سازی با بخار و تولید سوخت دارد. رویکردهای سنتی تبخیر خورشیدی عموما کل آب موجود در مخزن سیستم را گرم می‌کنند که منجر به بازدهی گرمایی تنها در حدود ۴۰ درصد می‌شود. پیشرفت اخیر در تبخیر خورشیدی لایه‌ای اجازه داده است که سطح هوا– مایع به جای توده آب گرم شود و بازدهی گرمائی تا ۹۰ درصد در تمرکز خوشیدی پائین رخ دهد که این مسئله با سرعت توسعه بالای مواد فوتوترمال جدید و مهندسی سازه‌ای فوتوترمال ممکن شده است. تولید بخار و آب پاک، از فاضلاب و آب دریا، یکی از کاربردهای پایه‌ای تکنیک تبخیر خورشیدی است که یکی از امیدوارکننده‌ترین راه‌حل‌های سبز و پایدار برای چالش‌های جهانی است. این روزها، کاربردهای بیشتر و بیشتری توسط این فرآیند فوتوترمال فراهم شده است که شامل تولید الکتریسیته، استرلیزه‌سازی بخاری، و تولید سوخت (شکل ۱) است.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

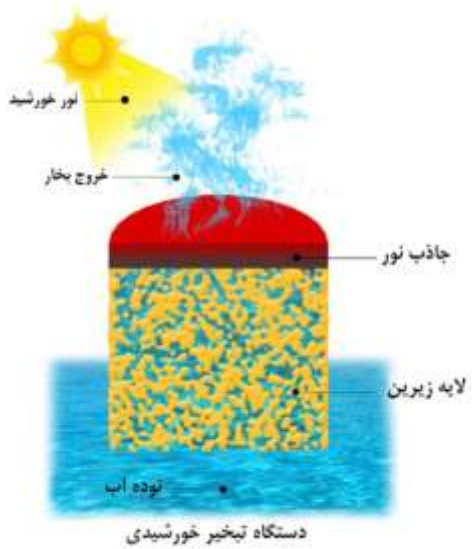


شکل ۱. ملاحظات موادی، مهندسی ساختاری، و کاربردهای مختلف در حوزه تبخیر خورشیدی

تلاش فراوانی جهت بهبود بازدهی فوتوترمال، تقویت جذب نور و کمینه کردن اتلاف حرارتی انجام شده است. توسعه اخیر که سیستم‌های تبخیری لایه‌ای خورشیدی که جاذب نور را در لایه هوا– آب قرار داده‌اند اجازه می‌دهد که تنها لایه هوا– مایع به جای توده آب گرم شود و منجر به بهبود قابل توجه بازدهی فوتوترمال شده است.

یک سیستم تبخیری دولایه‌ای شامل چندین بخش مانند جاذب نور، لایه زیرین، مخزن توده آب، نور دریافتی، و بخار است (شکل۲). نور دریافتی با جاذب نور جذب می‌شود و تبدیل به حرارت می‌شود. به صورت موازی آب با لایه زیرین جذب می‌شود و به سطح تبخیری از طریق مسیرهای آب مرتبط با نیروی موئینگی منتقل می‌شود. حرارت تولیده شده، دمای آب را بالا می‌برد و محرک فرآیند تبخیری می‌شود.

DOI:10.30503/nripress.2020.215



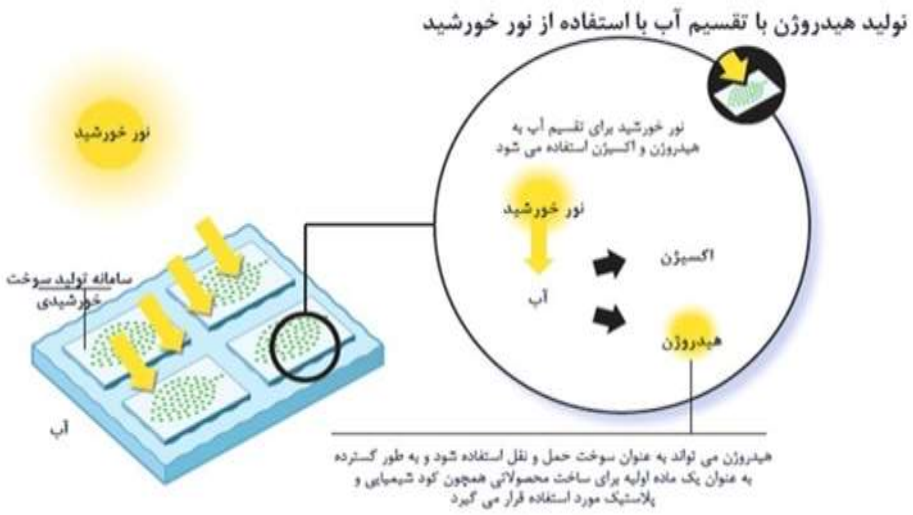
شکل ۲. طرح کلی ماده/ سازه‌ای سیستم تبخیر خورشیدی لایه‌ای

ب) سوخت خورشیدی

انرژی خورشیدی را می‌توان به طور مستقیم در پیوند شیمیایی یک ماده یا "سوخت" ذخیره کرد و سپس در زمان مورد نیاز، استفاده کرد. این سوخت‌های شیمیایی که در آن انرژی از خورشید به طور عمدی ذخیره شده‌است، سوخت‌های خورشیدی نامیده می‌شوند. آنچه در اینجا جدید است، خود سوخت‌ها نیست، بلکه راهی است که ما می‌توانیم از انرژی خورشید برای تولید آن‌ها استفاده کنیم. واژه "سوخت" به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد: این کلمه نه تنها به سوخت برای حمل و نقل و تولید برق اشاره دارد، بلکه در صنعت نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

این مفهوم از ساخت سوخت‌ها با استفاده از نور خورشید، پایه فتوسنتز است، که در آن نور خورشید برای تبدیل آب و دی کربن به اکسیژن و قندها یا سایر مواد مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌تواند به عنوان سوخت یاد شود (شکل ۳).

DOI:10.30503/nripress.2020.215



شکل ۳. تولید هیدروژن با تقسیم آب به وسیله نور خورشید

بیش از نیم‌قرن دانشمندان امکان تولید سوخت‌های خورشیدی را در آزمایشگاه دنبال کرده‌اند. سه رویکرد وجود دارد: فتوسنتز مصنوعی که در آن سیستم‌های تولید شده توسط انسان‌ها از روند طبیعی تقلید می‌کنند، فتوسنتز طبیعی و رویکردهای ترموشیمیایی.

یکی از چالش‌های منابع انرژی تجدیدپذیر و دیگر منابع انرژی تجدید پذیر متناوب (مانند باد) این است که چگونه انرژی را ذخیره کنند. برای انرژی خورشیدی برای تبدیل شدن به یک مولفه کاربردی و گسترده از سبد انرژی ما، تکنولوژی‌های جدید برای ذخیره کردن آن حیاتی هستند به طوری که انرژی خورشیدی زمانی در دسترس است که نور خورشید کم باشد یا نه. سوخت‌های خورشیدی به این چالش می‌پردازند چون انرژی خورشید در پیوندهای شیمیایی سوخت‌ها ذخیره می‌شود. مفهوم تولید و ذخیره‌سازی سوخت‌های خورشیدی در شکل ۳ نشان‌داده شده‌است. چالش دوم برای منابع انرژی تجدید پذیر متناوب، انتقال انرژی از مکانی است که در آن به آن نیاز است. سوخت‌های خورشیدی به راحتی با استفاده از شبکه‌های توزیع موجود در جاده‌ها، راه‌آهن و یا دریا جابجا می‌شوند. سوخت‌های خورشیدی همچنین می‌توانند با فن‌آوری‌های سلول سوختی، که سوخت را به الکتریسیته تبدیل می‌کنند، ترکیب شوند تا به یک ساختمان یا جامعه کوچک تبدیل شوند.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

فصل دوم. سوخت خورشیدی

رشد سریع اقتصادی به تقاضای روزافزون انرژی امروز کمک کرده است. پیامد بارز این امر افزایش استفاده از سوخت ها، به ویژه سوخت های فسیلی معمولی (یعنی زغال سنگ ، نفت و گاز طبیعی) است که از زمان انقلاب صنعتی به منابع اصلی انرژی تبدیل شده‌اند. با این حال، استفاده فراوان از سوخت های فسیلی به دلیل اثرات نامطلوب آنها بر محیط زیست ، به ویژه با انتشار دی‌اکسیدکربن، یک گاز اصلی گلخانه‌ای (GHG) مضر برای اقلیم، به دلیلی برای نگرانی تبدیل شده است *[1]*.

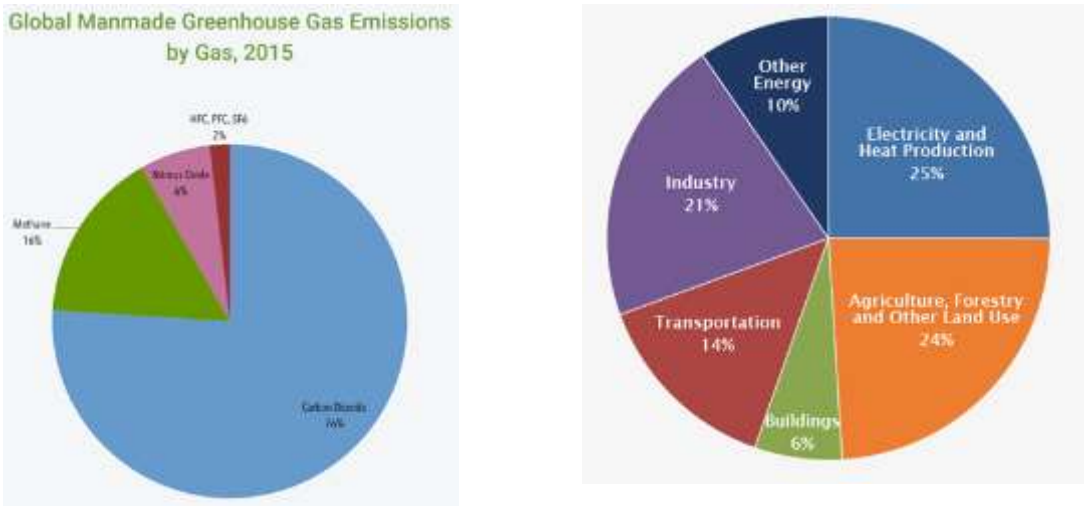
براساس پایگاه داده انتشار، برای تحقیقات اقلیمی جوی ، انتشار جهانی CO_2 در سال ۲۰۱۱ معادل ۳۳,۴ میلیارد تن بوده است که نسبت به دو دهه قبل ۴۸ درصد بیشتر است.در طول قرن گذشته ، سطح CO_2 اتمسفر بیش از ۳۹٪ افزایش یافته است ، از $280\ ppm$ در زمان پیش از تولید تا رکورد بالای $400\ ppm$ در مه ۲۰۱۳ که با افزایش متناظر در دمای سطح جهانی در حدود ۰/۸ درجه سانتیگراد همراه بوده است. بدون سیاست های کاهش تغییرات اقلیمی، تخمین زده می‌شود که انتشار GHG جهانی در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال ۲۰۰۰ میلادی، تا ۲۵–۹۰٪ افزایش یابد، که همراه با افزایش غلظت های معادل CO_2 در جو به اندازه $600\text{-}1550\ ppm$ همراه خواهد بود *[1]*.

طبق گزارش‌های موسسه بین المللی تغییرات اقلیمی ($IPCC$)، برای جلوگیری از بدترین تأثیرات تغییرات اقلیمی، لازم است که افزایش دما کمتر از ۲ درجه سانتیگراد نسبت به سطح دوران قبل از انقلاب صنعتی باشد و میزان انتشار CO_2 باید در سطح جهانی $41\text{-}72\%$ تا سال ۲۰۵۰ و $78\text{-}118\%$ تا سال ۲۱۰۰ نسبت به سطح ۲۰۱۰ کاهش یابد.

انتشار گازهای گلخانه‌ای یک مسئله جهانی است که تحت تأثیر انتشار دی اکسید کربن (CO_2) قرار دارد. قابل ذکر است ، CO_2 تقریباً ۷۷٪ از گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد و بنابراین تأثیر زیادی بر محیط زیست می گذارد. جذب *(Capture)*، توقیف *(Sequestration)* و استفاده *(Utilization)* از انتشار CO_2 از گاز خروجی دودکش‌ها در حال حاضر در سراسر جهان شناخته شده است. این روش‌ها یک راه حل امیدوارکننده برای ارتقاء پایداری به نفع نسل‌های آینده است. پیش از این ، بسیاری از محققان بر جذب و ذخیره CO_2 *(Storing)* متمرکز شده‌اند. با این حال، تلاش کمتری برای یافتن راه هایی برای استفاده از انتشار گازهای دودکش صرف شده است.

دو نمودار دایره ای زیر درصد انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۱۵ و انتشار گار CO_2 توسط بخش خای مختلف را نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که بیش از ٪۷۶ از گازهای گلخانه‌ای را CO_2 شامل میشود که اهمیت کاهش آن هویدا است. همچنین قسمت‌های صنعتی و نیروگاه‌های تولید توان و حرارت، بیشترین سهم انتشار گاز CO_2 را شامل میشوند که حدود نیمی از انتشار کل است.

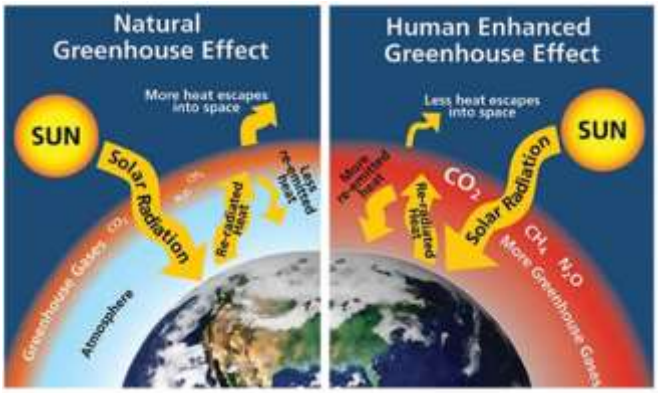
DOI:10.30503/nripress.2020.215



شکل ۴. درصد انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای و انتشار گار CO_2 توسط بخش‌های مختلف

در گذشته ، حذف CO_2 از جو عمدتا از طریق فتوسنتز صورت می گرفت، که در آن محصولات زراعی و گیاهان دیگر به طور طبیعی CO_2 و نور خورشید مصرف می کردند و اکسیژن را آزاد می کردند. اما به دلیل توسعه سریع صنعتی اخیر ، گیاهان به تنهایی قادر به مقابله با میزان CO_2 موجود در جو و حذف آن به طور طبیعی نیستند.

مقدار مشخصی از گازهای گلخانه‌ای موجود در سیستم جوی وجود دارد، به جذب اشعه حرارتی از سطح زمین کمک می‌کند و سپس پرتوهای مجدداً را به زمین بازگرداند همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است. با این حال، انتشار و غلظت بیش از حد گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های انسانی ممکن است باعث شود دمای زمین به شدت افزایش یابد و باعث تغییر اقلیم به ضرر اکوسیستم جهانی شود. بنابراین ، توجه به کنترل CO_2 و ترویج تمرین پایدار در کلیه بخش‌ها بسیار مهم است.

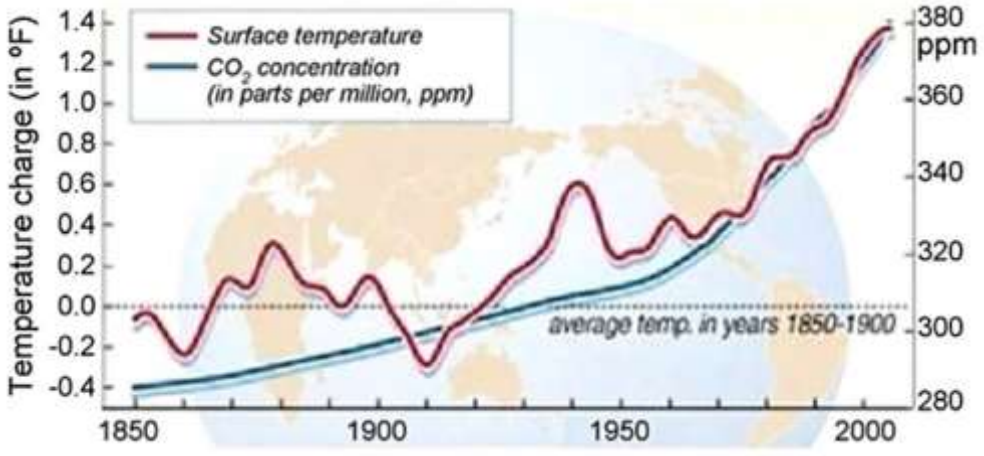


DOI:10.30503/nripress.2020.215

شکل ۵. تاثیرات گازهای گلخانه‌ای بر لایه اتمسفر

پایداری به عنوان روشی برای برآوردن "نیازهای نسلهای فعلی بدون به خطر انداختن توانایی نسل‌های آینده در تأمین نیازهای خود" تعریف شده است. برای دستیابی به پایداری، باید سه عنصر اکولوژی، اقتصاد و حقوق صاحبان سهام در نظر گرفته شود. مفهوم پایداری مربوط به حفظ و تقویت منابع محیطی، اجتماعی و اقتصادی به منظور پاسخگویی به نیازهای نسل‌های فعلی و آینده است. بنابراین، ورودی‌های منابع تجدید پذیر باید در ظرفیت‌های احیاکننده سیستم طبیعی که آنها را تولید می‌کند، نگه داشته شوند. علاوه بر این، استخراج منابع غیرتجدید پذیر باید به حداقل برسد و از حداقل سطح استراتژیک تجاوز نکند.

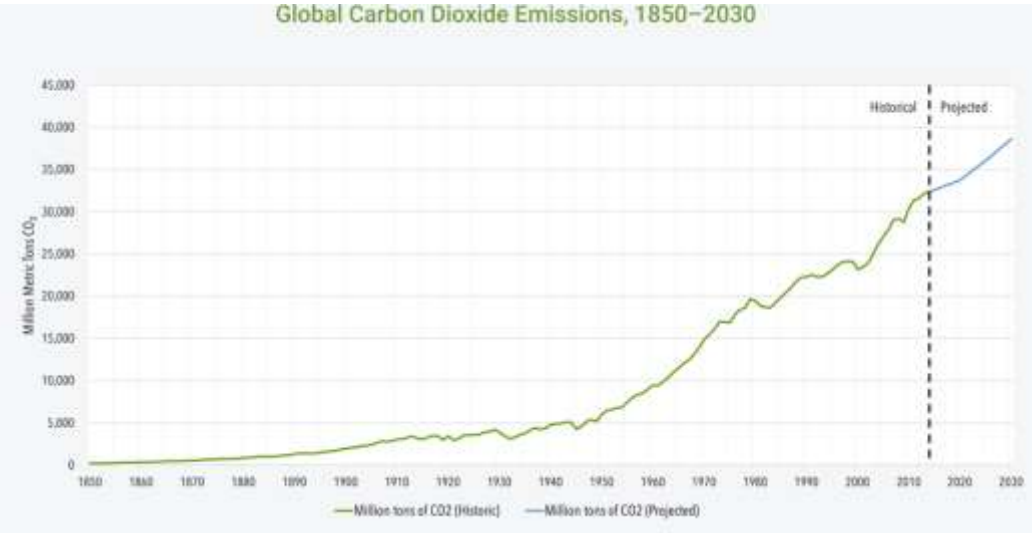
رشد سریع اقتصادی در بسیاری از کشورها منجر به آلودگی و وخیم شدن محیط زیست شده است و این موضوع در سراسر جهان جدی‌تر می شود. بنابراین، راهی برای اطمینان از بقای نسل‌های فعلی و آینده باید یافت. یکی از مشکلات قابل توجه محیط‌زیست در حال حاضر تولید گازهای گلخانه ای بیش از حد و سایر آلاینده های هوا است. تحقیقات اخیر نشان داده است که احتراق سوخت های فسیلی در بخش صنعت حدود ۵۶٪ از انتشار گازهای گلخانه ای CO_2 را تشکیل می دهد. شکل ۶، ارتباط بین غلظت CO_2 در جو و دمای سطح زمین را نشان می دهد. از این شکل می توان دریافت که از سال ۱۸۵۰ میزان انتشار انتشار دی اکسید کربن و دمای زمین به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. اعتقاد بر این است که این انتشار در آینده به دلیل توسعه صنعتی و رشد اقتصادی در آینده افزایش می‌یابد.



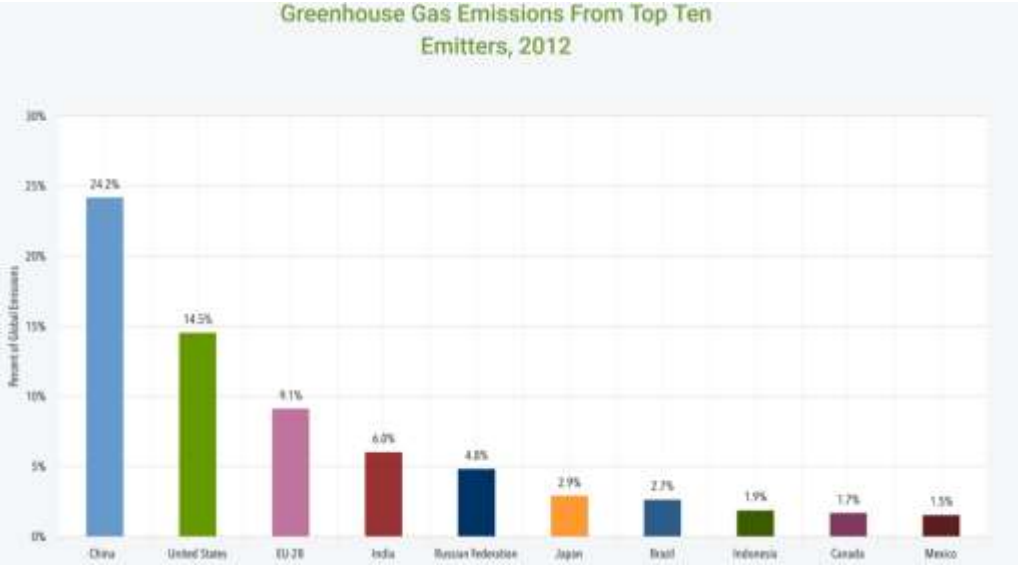
شکل ۶. رابطه میان میزان تمرکز CO_2 در اتمسفر با دمای زمین

DOI:10.30503/nripress.2020.215

شکل ۷، میزان انتشار گاز CO_2 را بین سال های ۱۸۵۰ و ۲۰۳۰ نشان می‌دهد. واضح است که این مقدار به صورت نمایی رو به افزایش است. همچنین شکل ۴ سهم ۱۰ کشور با بیشترین انتشار را به درصد نشان می دهد که چین با ٪۲۴/۲ در صدر است.



شکل ۷. میزان انتشار گاز CO_2 بین سال‌های ۱۸۵۰ و ۲۰۳۰



شکل ۸. کشورها با بیشترین سهم انتشار گاز CO_2

DOI:10.30503/nripress.2020.215

طبق گزارش‌های اخیر $IPCC$، میانگین غلظت CO_2 در جو در حال حاضر نزدیک به $400\ ppm$ است. با این حال ، جامع‌ترین تحقیقات نشان می‌دهد که سطح بی خطر غلظت CO_2 زیر $350\ ppm$ است. برای دستیابی به این هدف، **رویکردهای زیر برای کاهش تغییرات جهانی اقلیمی تعریف شده است**:

۱. بهبود بهره وری انرژی و ارتقاء مصرف انرژی
۲. افزایش استفاده از سوخت های کم کربن از جمله هیدروژن، گاز طبیعی یا انرژی هسته ای
۳. استفاده از انرژی های تجدید پذیر مانند خورشیدی، باد ، نیروگاه برق و انرژی زیستی
۴. اعمال کردن روشهای مهندسی محیط زیست، به عنوان مثال بازیابی و احیای جنگل ها
۵. جذب و ذخیره گاز کربن دی اکسید *(Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS))*

بعید است که اتخاذ یک رویکرد یا استراتژی واحد به اندازه کافی بتواند هدف $IPCC$ از کاهش CO_2 (۵۰–۸۵٪ تا سال ۲۰۵۰ نسبت به سطح ۲۰۰۰) را برآورده کند و بنابراین ، یک پرتفوی مکمل استراتژی های کاهش انتشار CO_2 نیاز به توسعه دارد. در میان رویکردهای مختلف ، CCS می تواند انتشار CO_2 (به طور معمول ۸۵–۹۰٪) از منابع انتشار نقاط بزرگ ، مانند نیروگاه های تولید برق و انتشار دهنده های پرانرژی را کاهش دهد که این اهمیت این موضوع را خاطر نشان می کند.

نگاهی به وضعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای در خاورمیانه و ایران

واقعیت تغییر اقلیم در بین کشورهای خاورمیانه و به ویژه ایران شدت دارد. در میان کشورهای خاورمیانه، ایران با افزایش ۲,۶ درجه سانتی گراد در میانگین دما و کاهش ۳۵ درصدی بارش در دهه های بعدی روبرو خواهد شد. به طور منطقه ای، انتشار CO_2 در خاورمیانه بیش از ۴ درصد به میزان قابل توجهی افزایش یافته است. در این منطقه ایران بزرگترین انتشاردهنده دی اکسید کربن است و در لیست ۱۰ کشور برتر منتشرکننده قرار دارد که حدود دو سوم انتشار CO_2 در جهان را شامل می‌شود. ایران نهمین بزرگترین انتشار دهنده گازهای گلخانه‌ای جهان در سال ۲۰۱۰ است. CO_2 از ۴۹۲,۳ میلیون تن در سال ۲۰۰۷ به حدود ۵۳۲,۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۰ افزایش یافته است که نشان دهنده رشد ۸,۱۴ درصدی بین این سال‌ها است. با این حال، در طی مدت طولانی بین ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰، CO_2 دارای رشد ۱۷۴٪ است. بخش تولید انرژی به تنهایی بیش از ۲۹,۱ درصد از کل CO_2 در سال ۲۰۱۰ را به خود اختصاص داده است.

جدا از رشد اقتصادی، مشخصات جمعیتی ایران به شدت در جهت جوانان است و نیازهای این نسل آینده به اشتغال و مسکن، زوج هایی با بردارهای کم مصرف انرژی و الگوی مصرف است. علاوه بر این، ایران مصرف انرژی فوق‌العاده ای بالاتر از

DOI:10.30503/nripress.2020.215

استانداردهای بین المللی دارد. مصرف انرژی سرانه آن ۱۵ برابر ژاپن و ۱۰ برابر اتحادیه اروپا است. همه اینها افزایش مداوم در تقاضای انرژی، مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای ($GHGs$) در بخش مسکونی ایجاد کرده است. بنابراین، کاهش CO_2 از هوا باید به عنوان یک استراتژی مهم تصفیه هوا در طولانی مدت برای مدیریت ریسک آب و هوا، به ویژه در منابع اصلی انتشار CO_2، نیروگاه‌ها، به بخش مهمی از سیاست و توسعه آینده ایران تبدیل شود.

مفهوم تبدیل انرژی الکتریکی به مواد شیمیایی به عنوان ذخیره سازی انرژی *(Power to Gas)*

مفاهیم ذخیره سازی انرژی

تغییرات اقلیمی به عنوان یک نتیجه از فعالیت‌های انسانی مانند احتراق بیش از حد سوخت‌های فسیلی، فرآیندهای صنعتی، جنگل‌زدایی و گازهای گلخانه‌ای (GHG) که در جو منتشر می شود به وجود می‌آید. انتظار می‌رود سیاست‌ها، مقررات و مقررات بالقوه تأثیر خود را در نحوه تولید، تحویل و استفاده از انرژی با اقدامات خاص یا از طریق تشویق و قیمت‌گذاری یا انگیزه قیمت‌گذاری بگذارد. بنابراین، توسعه و ترویج منابع جایگزین انرژی که می‌تواند به پایداری انرژی و سیستم محیطزیست منجر شود ضروری است. در واقع، برق تجدید پذیر از طریق کاهش GHG به پایداری جهانی کمک می کند *[1] [2]*.

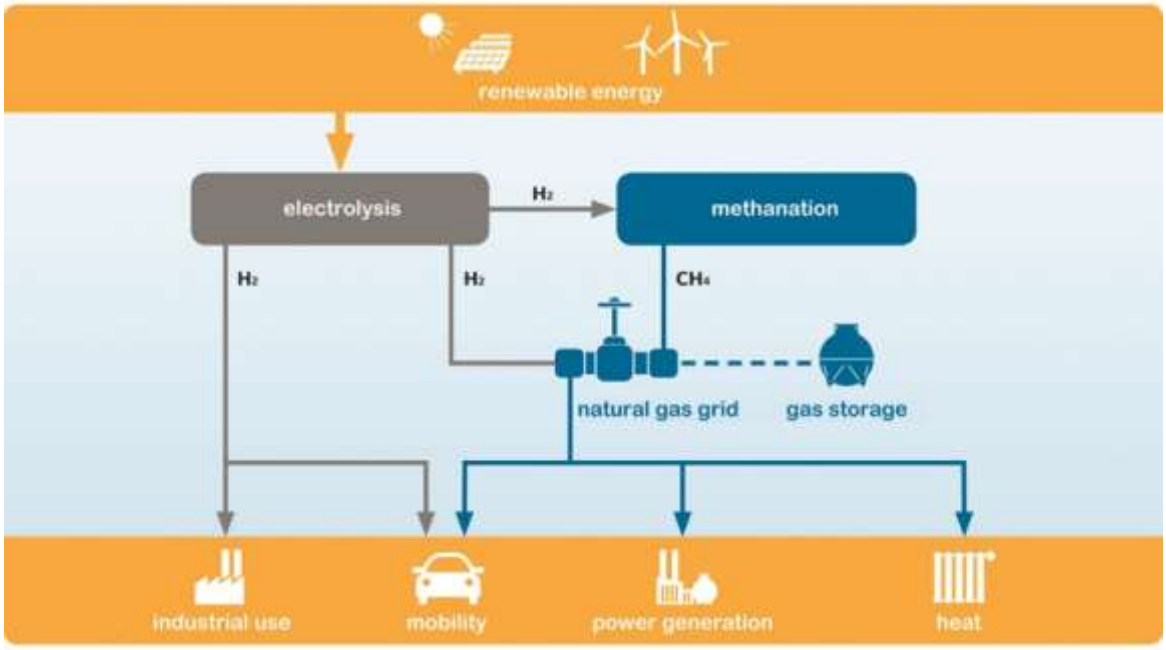
با این حال، بسیاری از منابع تجدیدپذیر انرژی، مانند انرژی باد و انرژی خورشیدی، دارای نوسان در مقدار انرژی می‌باشند. ذخیره انرژی الکتریکی (EES) یک راه حل است. EES به طور بالقوه می تواند با تولید و ذخیره‌سازی انرژی‌های تجدیدپذیر تغییرات در جریان انرژی را کاهش دهد تا اختلاف هزینه انرژی تجدیدپذیر با شبکه برق عادی را کاهش دهد، باعث افزایش نفوذ انرژی های تجدیدپذیر در بازار و کاهش GHG ها منجر شود.

فناوری های ذخیره‌سازی و تبدیل برق به گاز طبیعی برخلاف هیدروژن، به روزترین و پیشرفته‌ترین فناوری‌های تجاری هستند. تراکم انرژی بالاتر متان نسبت به هیدروژن، مزیت ذخیره‌سازی آن نسبت به هیدروژن است. گاز طبیعی تجدیدپذیر (SNG) می‌تواند تولید و ذخیره شود و در موقع تقاضا توزیع و به برق بازگردانی شود. همچنین در مقایسه با هیدروژن، کار با متان بسیار آسان‌تر است و نیاز به اصلاحات کمتری از موتورها، دیگهای بخار، نیروگاه‌ها و خطوط لوله دارد *[1]*.

از دیدگاه ذخیره سازی انرژی، در ساعات غیر پیک برق *(Off-peak)* که قیمت برق ارزان‌تر است، با استفاده از برق مازاد یا منابع تجدیدپذیر تولید SNG صورت گیرد تا در ساعات پیک مصرف برق *(On-Peak)*، این متان می‌تواند برای تولید برق از طریق $RSOC$ در مدل سوخت جامد اکسید سلولی ($SOFC$) استفاده شود. علاوه بر تبدیل SNG به برق در نیروگاه

DOI:10.30503/nripress.2020.215

های بزرگ، *SNG* همچنین می تواند در واحدهای گرمازا و سیستم های ترکیبی حرارت و توان (*CHP*) یا به عنوان سوخت حمل و نقل در بخش محرک ها مورد استفاده قرار گیرد. در شکل ۵، شماتیک کلی از فرایند *power-to-gas* را مشاده می شود.



شکل ۹. شماتیک کلی از فرایند *power-to-gas*

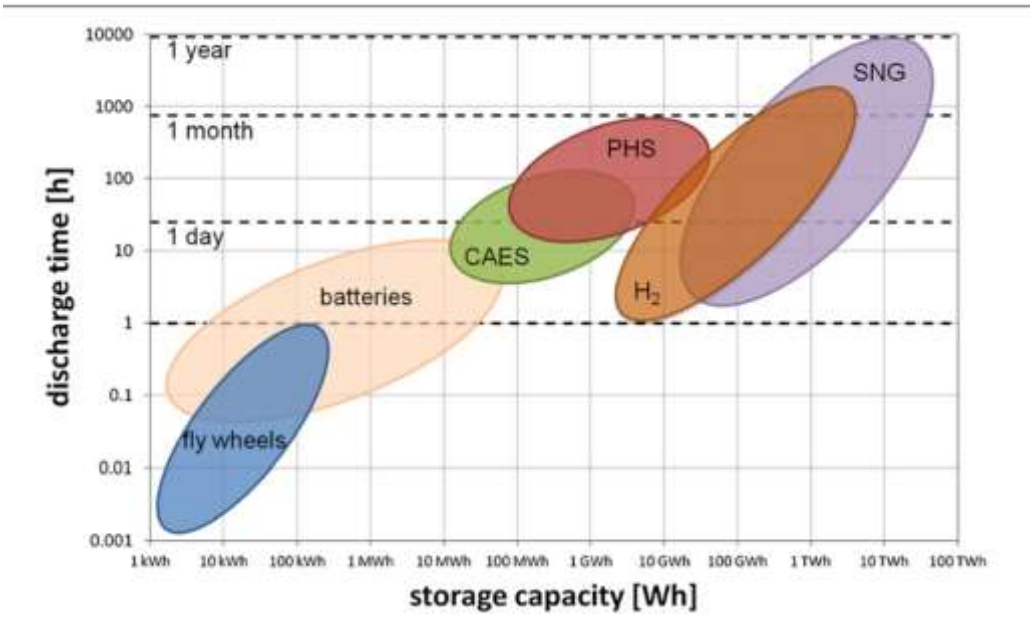
در حال حاضر تلاش‌های زیادی برای جایگزینی منابع انرژی معمولی مانند انرژی هسته‌ای یا سوخت‌های فسیلی توسط منابع انرژی تجدید پذیر مانند باد یا انرژی خورشیدی انجام شده است. با این حال، بسیاری از منابع انرژی تجدیدپذیر به دلیل ماهیت متناوب آنها (به عنوان مثال انرژی باد) نمی‌توانند انرژی الکتریکی پایه را تأمین کنند. برای رفع این مشکل، سیستم های ذخیره‌سازی باید در شبکه برق یکپارچه شوند *[1]*.

امکانات مختلفی برای ذخیره این انرژی اضافی وجود دارد: به عنوان مثال، ذخیره مستقیم انرژی الکتریکی می‌تواند توسط ابررساناها و ابررسانا ذخیره انرژی مغناطیسی (*SMES*) محقق شود. با استفاده از نیروگاه‌های ذخیره سازی پمپ شده، انرژی الکتریکی به انرژی بالقوه تبدیل می‌شود. مخازن هوای فشرده شده یا سیستم‌های ذخیره انرژی پرتوی الکتریسیته، انرژی الکتریکی را به عنوان انرژی مکانیکی بافر می‌کنند، در حالی که باتری‌ها ذخیره انرژی الکتریکی را از طریق انرژی شیمیایی امکان پذیر

DOI:10.30503/nripress.2020.215

می‌سازند، اما در برق از طریق یک روش الکتروشیمیایی قابل تبدیل است. علاوه بر این ، انرژی الکتریکی را می‌توان با انتقال آن به سوخت هایی مانند هیدروژن، گاز طبیعی مصنوعی (*SNG*) یا متانول به انرژی شیمیایی تبدیل کرد.

مقایسه فن آوری های ذخیره سازی توصیف شده با توجه به ظرفیت ذخیره سازی و بار شارژ / تخلیه بار آنها در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

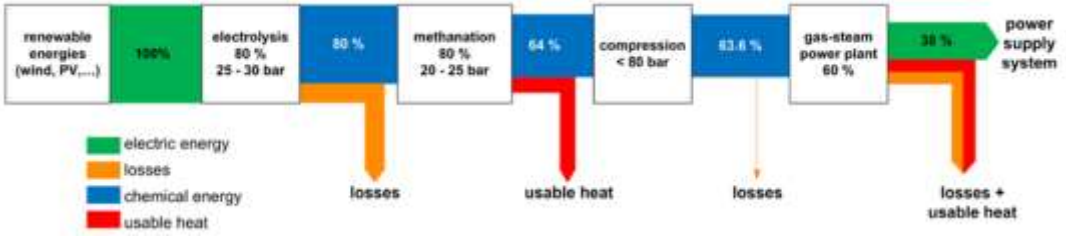


شکل ۱۰. مقایسه ذخیره سازهای انرژی مختلف از نظر ظرفیت ذخیره سازی و زمان تخلیه بار

یک مورد مهم برای فن آوری های ذخیره سازی (ذخیره انرژی از منابع تجدید پذیر) ظرفیت ذخیره سازی بالا همراه با دوره های شارژ / تخلیه زیاد است. فقط حاملهای انرژی ثانویه شیمیایی مانند سوخت های هیدروژن و کربن مبتنی بر کربن *(SNG)*این نیاز را برآورده می کنند. از طرف دیگر فناوریهای ذخیره سازی مانند فلایویل ها و باتری ها با توجه به ظرفیت و مدت زمان شارژ آنها به شدت محدود هستند. بنابراین ، این فن آوری ها فقط برای تامین نوسانات کوتاه مدت با تأمین انرژی الکتریکی در مدت زمان چند دقیقه تا چند ساعت استفاده می شوند. علاوه بر ظرفیت بالا و چرخه بار / تخلیه، بازده فرآیند یکی دیگر از ویژگی های مهم است. شکل ۱۱ تلفات کارآیی انرژی معمولی توصیف شده در فرآیند *power-to-gas* را نشان می دهد *[1]*.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

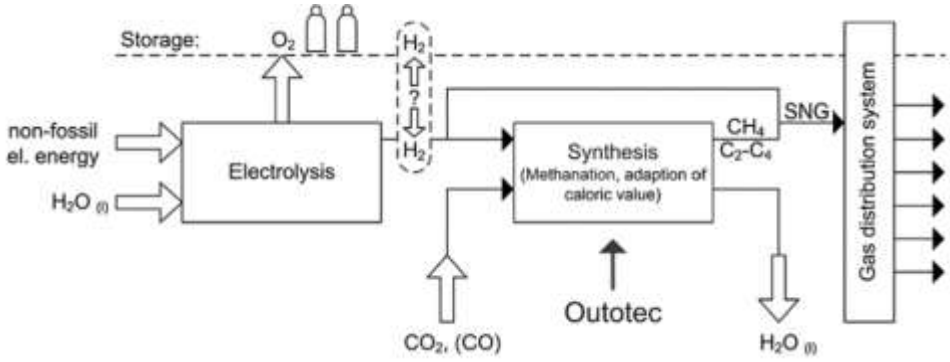
تبدیل انرژی الکتریکی به هیدروژن به دلیل مقاومت درونی سلول باعث از بین رفتن راندمان حدود ۲۰٪ می‌شود که به عنوان تلفات گرما محقق می شود. تحول بعدی هیدروژن در مرحله متانیشن، راندمان را تا ۶۴٪ کاهش می دهد. برای کل فرآیند از انرژی تجدید پذیر گرفته تا ذخیره سازی در شبکه گاز ، می توان به راندمان تقریبا ۶۳٫۶٪ رسید.



شکل ۱۱. دیاگرام سنکی اتلافات انرژی در فرایند *power-to-gas*

فرآیند تبدیل کربن دی اکسید به متان به عنوان ذخیره ساز شیمیایی انرژی

پروژه تعریف شده "ذخیره انرژی الکتریکی از برق مازاد و منابع تجدید پذیر در الکترولیز آب و تولید گاز طبیعی مصنوعی به عنوان ذخیره ساز شیمیایی انرژی" بر روی یک مفهوم برای تبدیل انرژی الکتریکی از منابع تجدیدپذیر به متان (نیرو به گاز) متمرکز شده است. یک نمای کلی از کل مفهوم در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲. مفهوم و فرایند شیمیایی ذخیره سازی برق در شبکه گاز

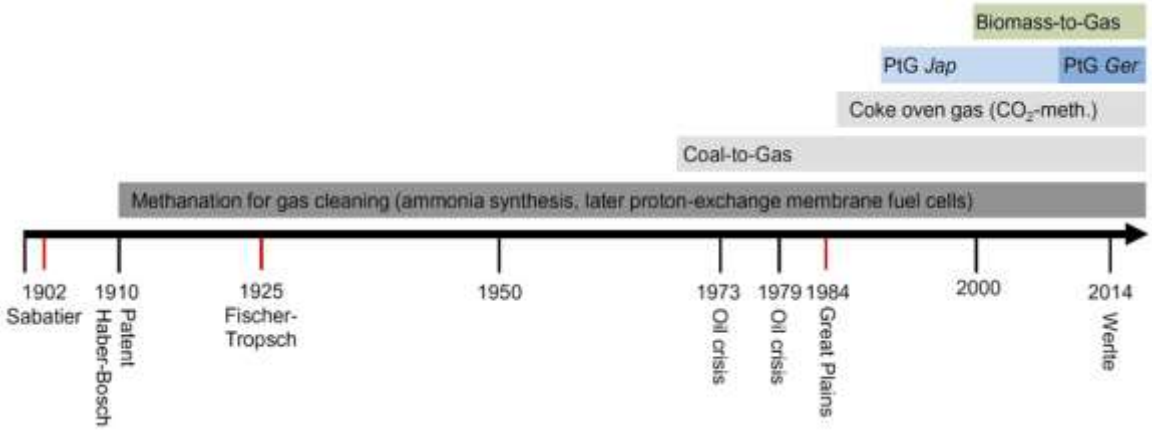
فرآیند متانیشن

DOI:10.30503/nripress.2020.215

واکنش متانیشن منوکسید کربن و دی اکسید کربن در آغاز قرن نوزدهم کشف شد. امروزه، این واکنش ها به طور گسترده در گیاهان سنتز آمونیاک برای از بین بردن اثر مونوکسید کربن که به عنوان یک سم کاتالیزور برای کاتالیزور سنتز آمونیاک عمل می کند، اعمال می شود. همچنین، پالایشگاه ها و گیاهان هیدروژنی برای تصفیه هیدروژن (از بین بردن مونوکسید کربن) از واکنش های متانیشن استفاده می کنند. با توجه به افزایش روزافزون تولید SNG از ذغال سنگ ارزان قیمت از طریق گازرسانی، درک فرایند متان سازی کاملاً تغییر یافته است، در ابتدا به عنوان یک فناوری تمیز کردن گاز خالص در نظر گرفته می شد، امروزه به عنوان یک فرایند اصلی سنتز شیمیایی مورد بررسی قرار می گیرد. یکی دیگر از دلایل افزایش اهمیت فرایند متاناسیون، نیاز به ذخیره انرژی الکتریکی اضافی از منابع تجدیدپذیر است. بسیاری از برنامه های کاربردی که برای حذف مونوکسید کربن به تبدیل به متان ساخته شده اند ، می توانند به راحتی در فرایندهایی که دی اکسید کربن و هیدروژن به عنوان مواد اولیه استفاده می شوند ، اصلاح شوند ، مانند سنتز فیشر–تروپچ، سنتز متانول یا متانیشن *[3]*.

تاریخچه متانیشن

نمودار تاریخچه متانیشن در شکل زیر مشاهده می شود.



شکل ۱۳. نمودار تاریخچه متانیشن از نظر نوع کاربرد

طی یک ساعت، انرژی ای که زمین از خورشید دریافت می کند برابر تمام نیاز انرژی بشر به مدت یک سال است. با این وجود ما تنها کمی بیش از یک درصد از انرژی خورشید را برای نیازهای برق استفاده می کنیم. یک مانع بزرگ برای دسترسی به پتانسیل کامل انرژی خورشیدی این است که متناوب است و ما نمی توانیم از انرژی خورشیدی ثابت استفاده کنیم زیرا خورشید همیشه نمی درخشد *[3]* .

DOI:10.30503/nripress.2020.215

برای دستیابی به انرژی تجدید پذیر در مقیاس لازم برای کمک به مقابله با تغییرات اقلیمی ، یک روش کارآمد و اقتصادی برای ذخیره انرژی خورشید برای مواقعی که آفتاب نمی درخشد ، لازم است. با این حال ، حتی وقتی این فناوری در دسترس باشد ، ما هنوز باید راهی برای استفاده از انرژی تجدیدپذیر برای بهره‌برداری از بخش حمل و نقل ، یکی از بزرگترین منابع انتشار گازهای گلخانه ای بیابیم.

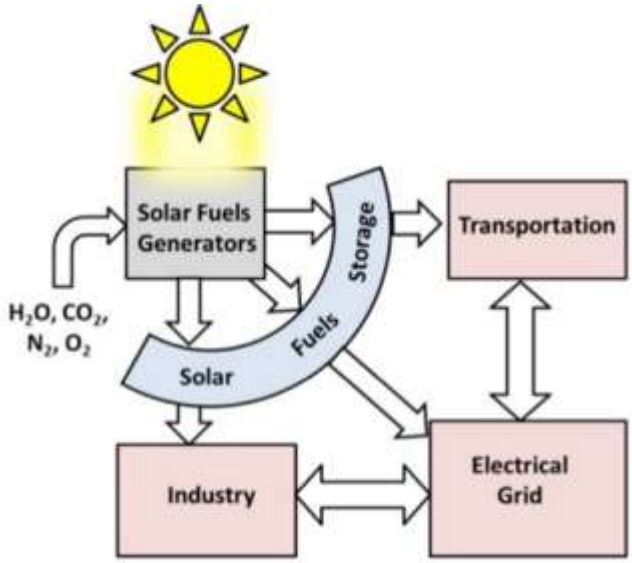
به گفته نات لوئیس، مدیر موسس مرکز مشترک فتوسنتز مصنوعی ، همه مطالعات مربوط به یک سیستم انرژی پاک که تاکنون دیده ام ، دو شکاف فناوری را مشخص می کنند. ذخیره انرژی در مقیاس گسترده شبکه برای جبران متناوب بودن انرژی بادی و خورشیدی و دسترسی به یک سوخت مایع با دانسیته انرژی بالا بدون کربن جهت انتقال. تحقیقات زیادی در جهت تولید باتریهای بهتر جهت ذخیره انرژی انجام شده است. با این وجود ، سوخت های خورشیدی به طور بالقوه می توانند انرژی خورشیدی را برای تولید برق ذخیره کرده و سوخت های فسیلی را در خودروها جایگزین کنند.

از نور خورشید و آب برای تولید هیدروژن که یک سوخت خورشیدی است، با استفاده از سلولهای خورشیدی ویژه ای به نام سلولهای فوتوالکتروشیمیایی (PEC) و راکتورهای الکترولیز فتوولتائیک (PV) می توان استفاده کرد. این فناوری انرژی خورشید را به صورت پیوندهای شیمیایی ذخیره می کند و سپس آن را از طریق یک سلول سوختی هیدروژنی به الکتریسیته تبدیل می کند. تاکنون بیشتر رآکتورهای فوتوالکتروشیمیایی بر اساس استفاده از پلاتین و ایریدیم ساخته شده اند که عناصر کمیاب و گرانی هستند *[3]*.

چرا سوخت‌های خورشیدی پتانسیل بالایی دارند؟

دو مزیت اساسی در سیستم سوخت خورشیدی وجود دارد. سیستم فتوولتائیک خورشیدی سنتی انرژی خورشید را به الکتریسیته تبدیل می کند ، در حالی که با استفاده از فن آوری سوخت های خورشیدی ، از نور خورشید مستقیما برای تبدیل یک مولکول واکنش دهنده با انرژی کم مانند آب برای تبدیل آن به فرم دیگر و افزایش محتوای انرژی آن و تشکیل انرژی شیمیایی یا سوخت استفاده می شود. در واقع شما انرژی خورشید را می گیرید و آن را به انرژی ذخیره شده در پیوند مولکول ها منتقل می کنید *[3]*.

DOI:10.30503/nripress.2020.215



شکل ۱۴. شکل شماتیک سوخت خورشیدی

نکته مهم در مورد سوخت ها این است که آنها قابل ذخیره سازی هستند ، بنابراین می توانیم آنها را نگه داریم و آنها را درون مخزن یا سایر مجاری لوله ها دیگر قرار دهیم و بعداً از آنها استفاده کنیم. سوخت ها مکمل منابع انرژی تجدید پذیر متناوب مانند خورشیدی یا بادی هستند و به حل مشکل تغییرپذیری آن ها کمک می کنند. نکته جالب دیگر در مورد سوخت این است که می توان آنها را در بسیاری از بخش های مختلف در سراسر جامعه استفاده کرد. از انرژی آن در بخش حمل و نقل، صنعت و همچنین در بخش مسکونی می توان استفاده کرد. در واقع این یک سیستم تطبیق پذیر و همه کاره است.

نمونه هایی از استفاده از سوخت های خورشیدی

خودروی سلول سوخت هیدروژن با انتشار صفر را درنظر بگیرید. متداول ترین نمونه سوخت خورشیدی ، هیدروژن است که می تواند از آب تولید شود. در اصل، شما آب را به هیدروژن و اکسیژن تقسیم می کنید و هیدروژن را به عنوان سوختی که می توانید در خودروی سوخت هیدروژن استفاده کنید نگه می دارید. در واقع هیدروژن را درون یک سلول سوختی می فرستید و الکتریسیته تولید می کنید.

همچنین آن را دوباره شارژ می کنید، همانطور که بنزین را درون مخزن یک اتومبیل معمولی میریزید. معمولاً هیدروژن فشرده، هنوز در مرحله گاز است. نکته دیگر در مورد سوخت هیدروژن این است که می توان دقیقاً مانند بنزین ، آن را به یک کار مفید با

DOI:10.30503/nripress.2020.215

موتور احتراق داخلی تبدیل کرد. در حقیقت ، انرژی حاصل از احتراق داخلی که از هیدروژن به عنوان سوخت استفاده می کند می تواند از موتور بنزینی کارآمدتر باشد. اتومبیلهای سلولی سوخت هیدروژنی به طور معمول مجهز به مخازن هیدروژن هستند که به دلیل چگالی انرژی زیاد هیدروژن فشرده شده، به ماشین اجازه می دهند تا حدود ۴۰۰ مایل تا زمان شارژ کردن بعدی طی کنند. این برد زیاد به همراه زمان سوخت گیری نسبتاً سریع یک وسیله نقلیه سلولی سوخت هیدروژن، به طور کلی مزیت های اصلی یک ماشین سلولی سوخت هیدروژن در مقایسه با یک وسیله نقلیه برقی محسوب می شود *[3]*. تقریباً هر تولید کننده اصلی خودرو در حال تولید خودروی سوخت هیدروژنی است که آنها را تا سال ۲۰۲۰ منتشر می کنند. با این وجود ، یکی از چالش ها هزینه و دیگری زیرساخت های داشتن ایستگاه های سوخت رسانی است.



شکل ۱۵. سوخت خورشیدی مورد استفاده در خودرو پیل سوختی

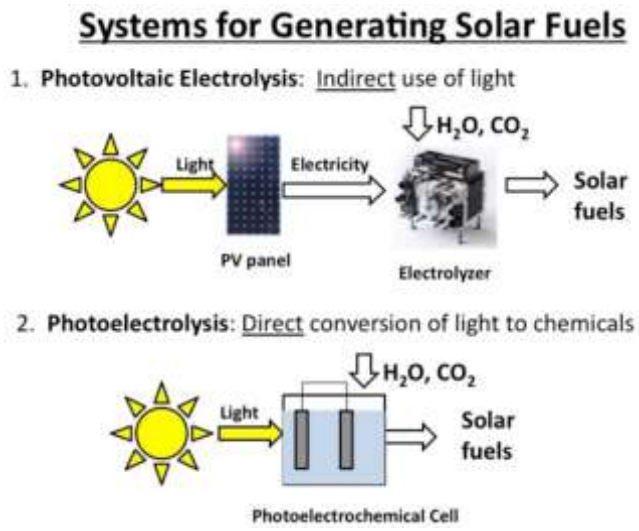
نمونه دیگر در مورد شبکه برق است که سعی در حل مسئله وقفه های مرتبط با انرژی بادی و خورشیدی دارد. مکانهایی در جهان وجود دارد که مردم سعی در استفاده از انرژی کم مصرف خورشیدی و بادی دارند و از هیدروژن به عنوان وسیله ای برای ذخیره آن انرژی استفاده می کنند و سپس در هنگامی که تابش آفتاب یا ورش باد وجود ندارد از آن استفاده می کنند. به این فرایند "الکتریسیته به سوخت *(Power to Gas)*" گفته می شود. ایده کلی در اینجا تولید برق در مواقع ارزان در هنگام اقلیم

DOI:10.30503/nripress.2020.215

آفتابی یا باد شدید است. در این فرایند به کمک دستگاه الکترولیز یک واکنش دهنده کم انرژی را مانند آب به هیدروژن تبدیل می کنید. سپس آن هیدروژن را برداشته و آن را به یک خط لوله گاز طبیعی تزریق می کنید. بعداً ، هنگامی که قیمت برق بالاتر است مثل ساعات پیک، آن را در نیروگاه سنتی گاز طبیعی به برق تبدیل می کنید.

نحوه کار کردن الکترولیزورهای فتوولتائیک و سلولهای فوتوالکتروشیمیایی

دستگاه الکترولیزر فتوولتائیک، شامل یک سلول خورشیدی سنتی (پنل فتوولتائیک) به همراه اتصال مستقیم آن به یک الکترولیز می باشد. در واقع دو دستگاه وجود دارد. سلول فوتوالکتروشیمیایی عملکرد هر دو دستگاه را در یک دستگاه منفرد یکپارچه ترکیب می کند. شما دو الکترود آند و کاتد دارید اما تفاوت اصلی این است که یکی از این الکترودها از یک نیمه هادی ساخته شده است. در یک سلول فوتوالکتروشیمیایی، ولتاژی که توسط این فوتوالکتروود (آند یا کاتد) تولید می شود برای هدایت واکنش الکتروشیمیایی استفاده می شود. معمولاً این فوتوالکتروود هایی که با آنها کار می کنیم به ابعاد یک یا دو سانتی متر مربع هستند. فوتوالکتروود را می توان قلب سلول در نظر گرفت. باید نور را جذب کند، یک ولتاژ فتوولتائیک (ولتاژ ایجاد شده توسط اثر فتوولتائیک) ایجاد کند ، و سپس از آن انرژی استفاده کند تا به طور مؤثر تبدیل شیمیایی واکنش دهنده ها (آب در این حالت) به محصولات (هیدروژن و اکسیژن) صورت گیرد. فرآیند مهمی که توسط این تحولات شیمیایی به طور مؤثر روی سطح الکترودها صورت می گیرد ، کاتالیز نامیده می شود *[4]*.



شکل ۱۶. سیستم‌های تولید سوخت‌های خورشیدی

DOI:10.30503/nripress.2020.215

در این قسمت است که بسیاری از تحقیقات مربوط به مواد بسیار مهم می شوند زیرا ما دوست داریم مواد کاتالیزوری که در این عکس الکترودها مورد استفاده قرار می گیرند بسیار فراوان در زمین ، کم هزینه و پایدار باشند. ضمانت یک سلول خورشیدی که هم اکنون می خریدید و روی بام خود می گذارید حدود ۲۵ سال است. بنابراین ، اگر این فناوری قرار به رقابت داشته باشد، نیاز است که عمر آن حداقل ۵ یا ۱۰ سال طول بکشد. این یک چالش بزرگ است زیرا شما در واقع یک سلول خورشیدی می گیرید و آن را درون یک مایع ، معمولاً آب فرو می کنید. خوردگی در این مورد مساله مهمی است *[4]*.

چشم‌انداز

هنوز سؤالات زیادی برای پاسخ به این فناوری که در نهایت قرار است به چه شکل به وجود بیاید وجود دارد. این یک جنبه هیجان انگیز برای کار در این زمینه است. هیچ کس واقعاً نمی داند چه شکلی یا مقیاس خواهد بود. آیا الکترولیز فتوولتائیک نسبت به سلول شیمیایی فوتوالکتریک برتری پیدا می کند یا برعکس؟ جوانب مثبت و منفی برای هر دو آنها وجود دارد. امید این است که با کار در هر دو زمینه مواد و دستگاه‌ها، بتوان به سرعت بخشیدن به روند توسعه کمک کرده و به جایی نزدیک شویم که این فناوری بتواند در ایران و جهان تغییری ایجاد کند.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

فصل سوم. تبخیر خورشیدی لایه‌ای

تبخیر خورشیدی لایه‌ای، فرآیند تبدیل انرژی حرارتی خورشیدی است که توجه فراوانی را به خود جلب کرده است که ناشی از بازدهی تبدیل بالا است و پتانسیل صنعتی قابل توجه دارد. در سال‌های اخیر، تبخیر خورشیدی لایه‌ای با محلی‌سازی تبدیل انرژی حرارتی خورشیدی در لایه هوا/ مایع به عنوان جایگزینی برای تبخیر حرارتی توده‌ای مرسوم مطرح شده است که به صورت بالقوه موجب کاهش اتلافات حرارتی و بهبود بازدهی تبدیل انرژی می‌شود. در این پروژه توسعه اجزا کلیدی برای دستیابی به تبخیر با عملکرد بالا شامل جاذب‌های خورشیدی، ساختارهای تبخیر و متمرکزکننده‌های حرارتی مورد بحث قرار می‌گیرد و بحث شود که این ابعاد چگونه موجب عملکرد سیستم تبخیر خورشیدی لایه‌ای شود.

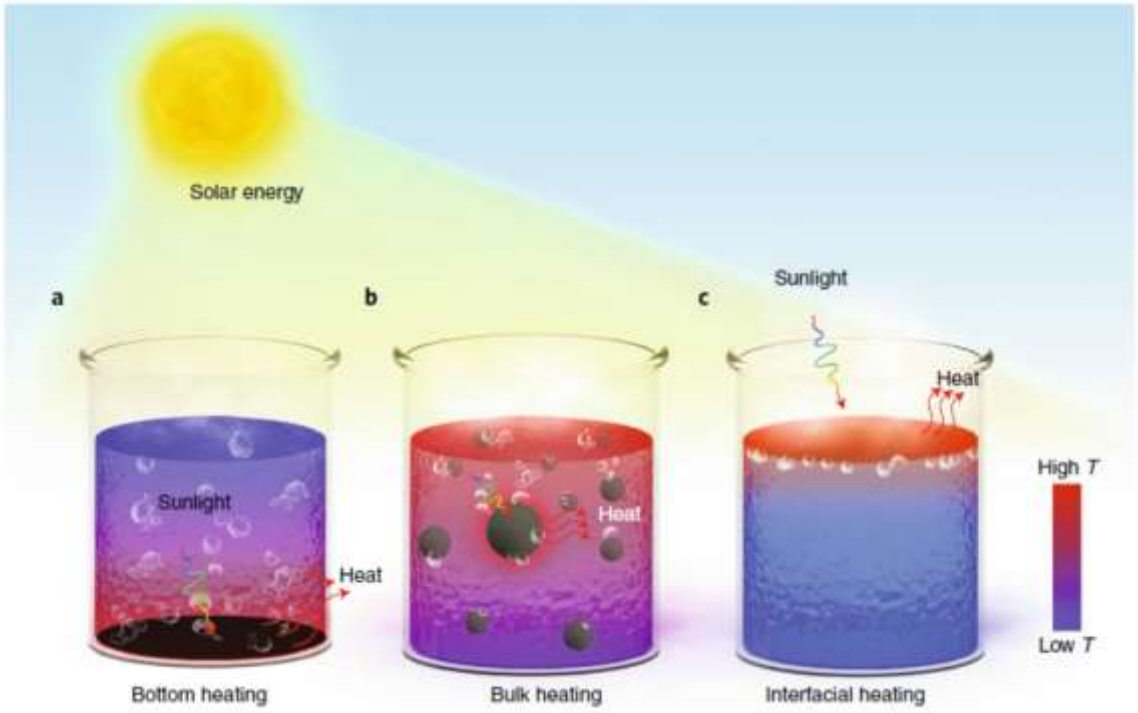
فناوری حرارتی خورشیدی، یک روش مستقیم و برای برداشت انرژی خورشیدی برای کاربردهای گرمایش و ذخیره‌سازی انرژی است [9][8][7][6][5]. یک روش پیاده‌سازی فناوری حرارتی خورشیدی، تبخیر خورشیدی است که شامل تولید بخار در دماهایی پایین‌تر از دمای جوشش است. تبخیر خورشیدی به عنوان یک فرآیند پایه‌ای خورشیدی کاربردهای متنوعی دارد تا محرک کاربردهای متنوعی در سطح جهان باشد [11][10] و توسط انسان‌ها برای تولید آب پاک از زمان باستان به کار می‌رود [12]. این بخار برای به حرکت درآوردن بسیاری از فرآیندهای صنعتی مانند تولید توان [13] استرلیزه کردن با بخار [14] در جامعه مدرن به کار رفته است. امروزه، انرژی حرارتی خورشیدی در بسیاری از کاربردها به علت پیچیدگی و هزینه بالای مرتبط متمرکزکردن نور خورشید به اندازه کافی مورد استفاده قرار نگرفته است [8] [15] [16]. با این حال، برداشت و تبدیل انرژی از فرآیند تبخیر به صورت محدودی مورد بررسی قرار گرفته است [17] [18]. این مسئله، علیرغم حضور همه‌جایی تبخیر خورشیدی در محیط طبیعی است. در سیستم‌های تبخیری خورشیدی بدون تمرکز خورشیدی مانند سولار استیل، تولید بخار در سطح دریافت‌کننده رخ می‌دهد، در حالی که تولید بخار در جاهای دیگر سیستم رخ می‌دهد (شکل ۱۷الف) [19]. این جدا شدن گرما و تولید بخار منجر به توده حرارتی بزرگتر و افت‌های دمای غیرضروری از تولید حرارت از سطوح تبخیر می‌شود که در نتیجه موجب افت‌های حرارتی غیرقابل اجتناب می‌شود. و موجب بازدهی نسبتا پایین ۳۰ تا ۴۵ درصدی سولار استیل ها می شود [19].

برای کاهش اتلافات حرارتی سطح جدب خورشیدی حجمی با به کارگیری نانو سیال های نوری با انتقال تولید حرارت به داخل سیال مورد آزمایش قرار گرفته است (شکل ۱۷ب) [20]. استراتژی های گرمایش حجمی فقط با بهبود معتدل بازدهی تبخیر قابل انجام است [21] [22] [23]. چون آنها خصوصا برای کاربرد های تبخیر که دماهای سطوح بالا مورد نیاز است طراحی نشدند [24]. به علاوه، پراکنش قوی و پمپ کردن نانوسیال ها تحت تابش شدید طولانی مدت خورشید چالش بر انگیز

DOI:10.30503/nripress.2020.215

است [25] [26] [27] [28]. در سال های اخیر، یک رویکرد تبخیر لایه‌ای (شکل ۱۷ج) پیشنهاد شده است. تا محلی سازی حرارت را در سطح مایع بهبود بخشد.و به صورت موفقیت آمیزی به بازدهی های تا حدود ۹۰٪ را تحت تمرکز های نوری کاهش یافته دست یافته است [29] [30]. این رویکرد بخش تبخیری آب را به جای کل توده آب گرم می کند. این گونه تبخیر خورشیدی لایه ای از گرمایش حجمی اجتناب می ورزد و میزان ماده فتوترمال را به کار گرفته را کمینه می کند و راه های اضافه ای پیشنهاد می کند تا عملکرد تبخیری شامل جریان بخار تبخیری و دمای بخار را تنظیم کند.به خاطر این مزایا تبخیر لایه ای خورشیدی دارای پتانسیل برای توسعه بکارگیری فناوری های حرارتی خورشیدی در سیستم های قابل جابه جایی مجزا و کوچک است [29] [30].

DOI:10.30503/nripress.2020.215



شکل ۱۷. تبخیر خورشیدی از طریق انواع گرمایش خورشیدی [31]

در این بخش مطالعه ما پیشرفت های اخیر در حوزه ی تبخیر لایه ای خورشیدی را بررسی می کنیم.مروری از تلاش های اخییر برای بهبود عملکرد از طریق مهندسی مواد ارائه می شود و بحث می شود چگونه مواد تابه ای و طراحی ساختاری پیشرفته در هر دو سطح مواد و سیستم به طور پیوسته عملکرد سیستم را بهبود می بخشد. در مورد کاربرد های مرتبط با انرژی این فناوری به علاوه به کارگیری مورد اقبال انرزی خورشیدی برای شیرین سازی آب دریا تولید بخار و تصویه آب به برداشت و تبدیل انرژی از انرژی خورشیدی به انرژی های حرارتی، الکتریکی، مکانیکی و شیمیایی توجه خواهد شد.

توسعه‌ی سیستم تبخیری لایه ای خورشیدی تمرکز بر اجزای کلیدی زیر دارد:

۱) جاذب خورشیدی که به صورت موثری تابش خورشید را جذب می کند و آن را به حرارت تبدیل می کند و در عین حال به بخار اجازه می دهد که از سطح رویی نفوذ کند؛ یک سازه ی تبخیری شناور که به صورت همزمان می تواد نرخ تبخیر را بیشینه کند و مایع را به بخش گرم شده برساند؛ و یک عایق حرارتی که به صورت موثری بتواند اتلاف انرژی حرارتی خورشیدی تبدیل شده را به توده مایع کاهش دهد.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

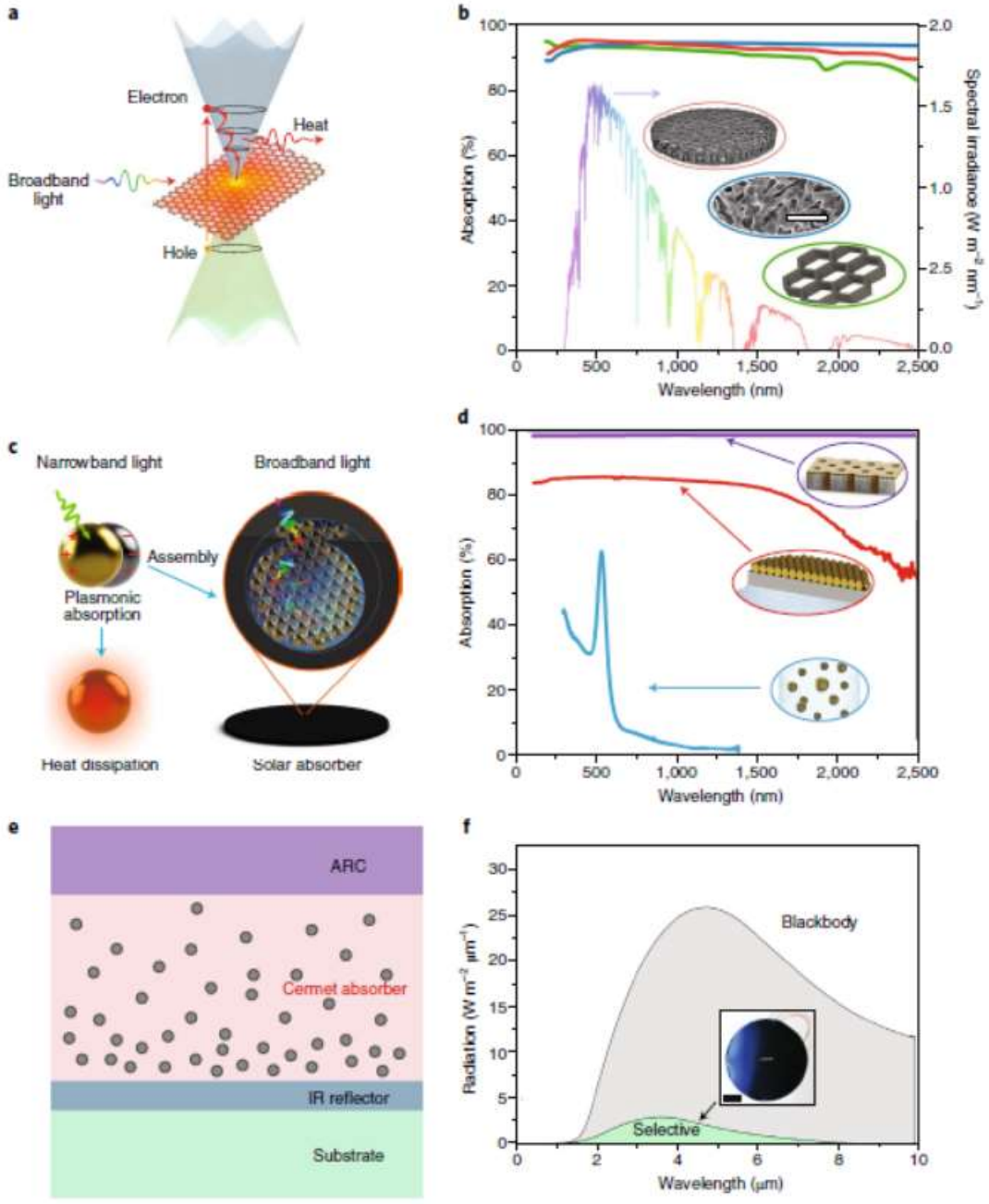
جاذب های خورشیدی

جذب موثر تابش خورشیدی با طیف گسترده و تبدیل آن به حرارت اولین قدم کلیدی برای تبخیر مایع است. دو دسته از مواد جاذب خورشیدی یعنی جاذب های پایه کربن [30] و جاذب های پایه پلاسمونیک [32] در این حوزه توسعه یافته است. مواد کربنی به صورت طبیعی سیاه هستند و مناسب برای جذب تابش طیف گسترده ای می باشند [33]. جذب خورشیدی در مواد پایه کربن شامل تحریک الکترون ها و ریلکسیشن آتی آنها است. شکل ۱۸الف الکترون های تحریک شده به صورت نوری به سرعت با پراکنش الکترون– الکترون و الکترون حرارت می یابد [33]. در میان جاذب های پایه کربن مختلف که تا امروز مورد بررسی قرار گرفته است گرافیت، کره های کربن خالی و اکسیدهای گرافن کاهش یافته گزینه های امیدوار کننده ای هستند چون جذب بالا قیمت پایین و فرآیند پذیری خوبی دارند. به عنوان مثال، یک ساختار تبخیر دو لایه ای که شامل یک فوم کربنی شناور و لایه ی تبدیل حرارت خورشیدی گرافیتی بر روی آن است، به جذب ۹۷٪ تابش خورشید از ۲۵۰ تا ۲۲۵۰ نانومتر رسیده است. شکل ۱۸ب [34] علت عملکرد تبدیل خورشیدی حرارتی بالای گزارش شده تا به حال، چالش آتی جهت کاربرد گسترده ی تبخیر لایه ای خورشیدی پایه کربن کاهش هزینه های مرتبط با آن است. راه حل های امیدوارکننده ای شامل توسعه ی طراحی های سیستم تبخیری یکپارچه مانند چوبی که با شعله لایه رویی آن سوزانده شده [34]، استفاده از جاذب های کم هزینه مانند اسفنج های پلیمری و استفاده از فناوری های ساخت پیشرفته مانند پیرینت سه بعدی [35]. در مقایسه با جاذب های کربنی تک جزیی کامپوزیت های پایه کربن به صورت نوری فعال هستند و اجازه می دهند که مواد تبدیل انرژی خورشیدی حرارتی به راحتی بازیافت شوند و همپنین کارکرد هایی مانند تصویه ی فتوکالیستی آلاینده های عالی را میسر می سازد.

جاذب های پلاسمونیک در ابعاد نانو توانایی تبدیل انرژی حرارتی محلی شده ی خوبی را به نمایش گذاشته اند[36] ، و برای تبخیر خورشیدی نیز به کار رفته اند برخلاف مواد کربنی نانو ذرات پلاسمونیک مانند نقره طیف محدودی از نور را در اطراف پیک رزولانس خود جذب می کند. برای پوشش یک بش گسترده تری از طیف خورشیدی مواد نانو ذرات با ابعاد مختلف در فیلم های متخلخلی سوار شدند. (شکل ۱۸ج) در فیلم متخلخل سوار شده نانو ذرات نقره به صورت متراکمی چیده شده اند و مد های رزونانس پلاسمایی سطح آنها همپوشانی دارد و با هم ترکیب می شود و منجر به جذب طیف گسترده ی نور خورشید می شود.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

فیلم های نانو ذرات سوار شده روی کاغذ و سایر زیر لایه ها برای تبخیر لایه ای خورشیدی به کار رفته اند. (شکل ۱۸د) فیبر های سلولزی زبر زیر لایه ی کاغذی پشتیبان جذب نوری نانو ذرات نقره ای را از ۶۵٪ به ۸۵٪ افزایش می دهد. جذب نوری فوق بالا با قرار دادن نانو ذرات فلزی روی اکسید آلومینیوم آنودی شده نانو متخلخل قابل دستیابی است. (شکل ۱۸د)



شکل ۱۸. جاذب‌های خورشیدی برای تبخیر خورشیدی لایه‌ای [31]

DOI:10.30503/nripress.2020.215

جاذب های خورشیدی ایده آل باید خواص متناقض جذب خورشیدی بالا و انتشار حرارتی پایین داشته باشد که از طریق تابش بالا در ناحیه ی مادون قرمز با طول موج بلند قابل انجام است. جاذب های خورشیدی حرارت را از طریق تابش حرارتی از دست می دهند. این اتلافات تابشی به خصوص در دماهای بالا می تواند قابل توجه باشد. کاهش انتشار حرارتی جاذب ها این اتلافات تابشی را سرکوب می کند یکسری مخصوص از مواد با این خواص جاذب های گزینشی طیفی به صورت همزمان جذب خورشیدی بالا و انتشار حرارتی پایینی دارند. همان طور که در شکل ۱۸ه نشان داده شده است تابش حرارتی پایین با به کارگیری یک فلز تابش کننده‌ی مادون قرمز بع عنوان زیر لایه یا با قرار دادن یک بازتابنده فلزی که به میزان بالایی در طول موج های میانی و دور مادون قرمز باز تابنده است. پوشش ضد بازتاب همپنین می تواند بازتاب نور خورشید را کاهش دهد اخیرا این جاذب های خورشیدی گزینشی با جذب خورشیدی بالای ۰/۹۳ نشر پایین ۰/۰۷ در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد بر روی فوم پلی استایرنی شناور شدند تا به صورت موثری بخار داغ از طریق تبخیر لایه ای خورشیدی با استفاده از رویکرد تمرکز گرمایی ایجاد کنند. به غیر از جاذب های خورشیدی متخلخل ذکر شده جاذب های گزینشی طیفی تجاری دارای پوشش صلبی هستند و نیازمند اتخاذ استراتژی های مختلفی جهت تامین انتقال آب و بخار هستند.

ساختار تبخیر

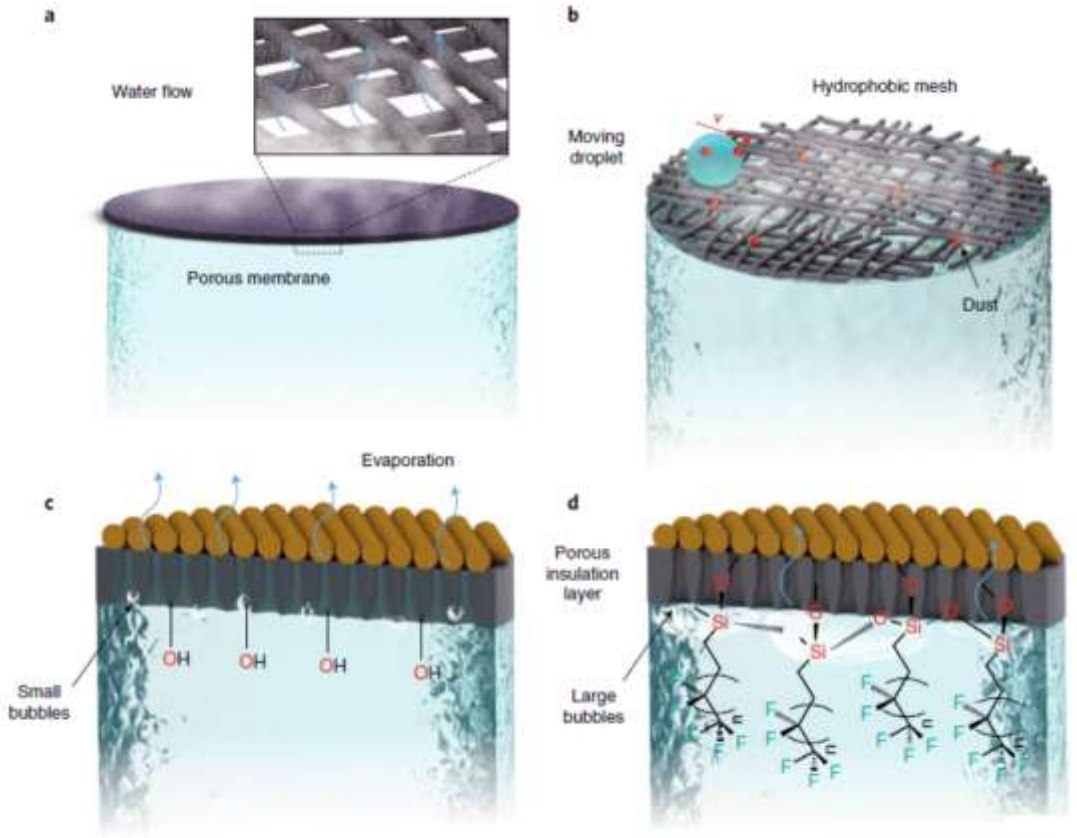
تولید حرارت خورشیدی گرمایی محلی شده در سطح هوا–مایع کلید دستیابی به عملکرد بالا تبخیری و بازدهی بالای تبدیل انرژی خورشیدی به بخار است. همان طور که در شکل ۱۹ نشان داده شده است یک استراتژی رو به جلو برای دستیابی به گرمایش لایه ای شناور کردن جاذب خورشیدی در سطح تماس هوا مایع یا از طریق هیدروفوبیسیتی سطحی چگالی کم یا استفاده به عنوان شناور فلزات متخلخل مانند فوم های کربنی است.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

تامین آب موثر در ناحیه گرمایش خورشیدی برای تبخیر لایه ای بازده بالا کلیدی است برای سیستم های تبخیری شناور متخلخل اثر مویینگی ساختار تبخیر متخلخل برای پمپ کردن آب استفاده شده است میکرو ساختارهای متخلخل با اندازه ی سوراخ کوچک پمپ کردن مویینگی آب را به سمت ناحیه گرمایش تشدید می کند تخلخل های در ابعاد میکرومتری نشان داده اند که از سوراخ های نانویی برای پمپ کردن موثر آب مناسب تر هستند.در این سیستم های تبخیری شناور، سوراخ های پر شده، انتقال حرارتی ساختار لایه ای را کاهش می دهند. لذا موجب محدود شدن اتلاف حرارت تولید شده می شود. برای سیستم های تبخیری لایه ای که توسط شناورهای مانند فوم استایرنی با سوراخ های بسته مواد خارجی برای کشیدن آب با استفاده از اثر مویینگی کاربرد دارد.

خیس شدن سطح ساختار تبخیر نقش مهمی در تبخیر لایه ای بازی می کند و عملکرد تبخیر را تحت تاثیر قرار می دهد. از یک طرف، سطوح هیدروفوبیک کمک می کنند که جاذب های خورشیدی شناور بمانند از طرف دیگر سطوح هیدروفیلیک برای کشیدن آب جهت تبخیر مورد نیاز است. و آب دوست بودن قوی تر منجر به توانایی پمپاژ مویینگی بهتری می شود.

DOI:10.30503/nripress.2020.215



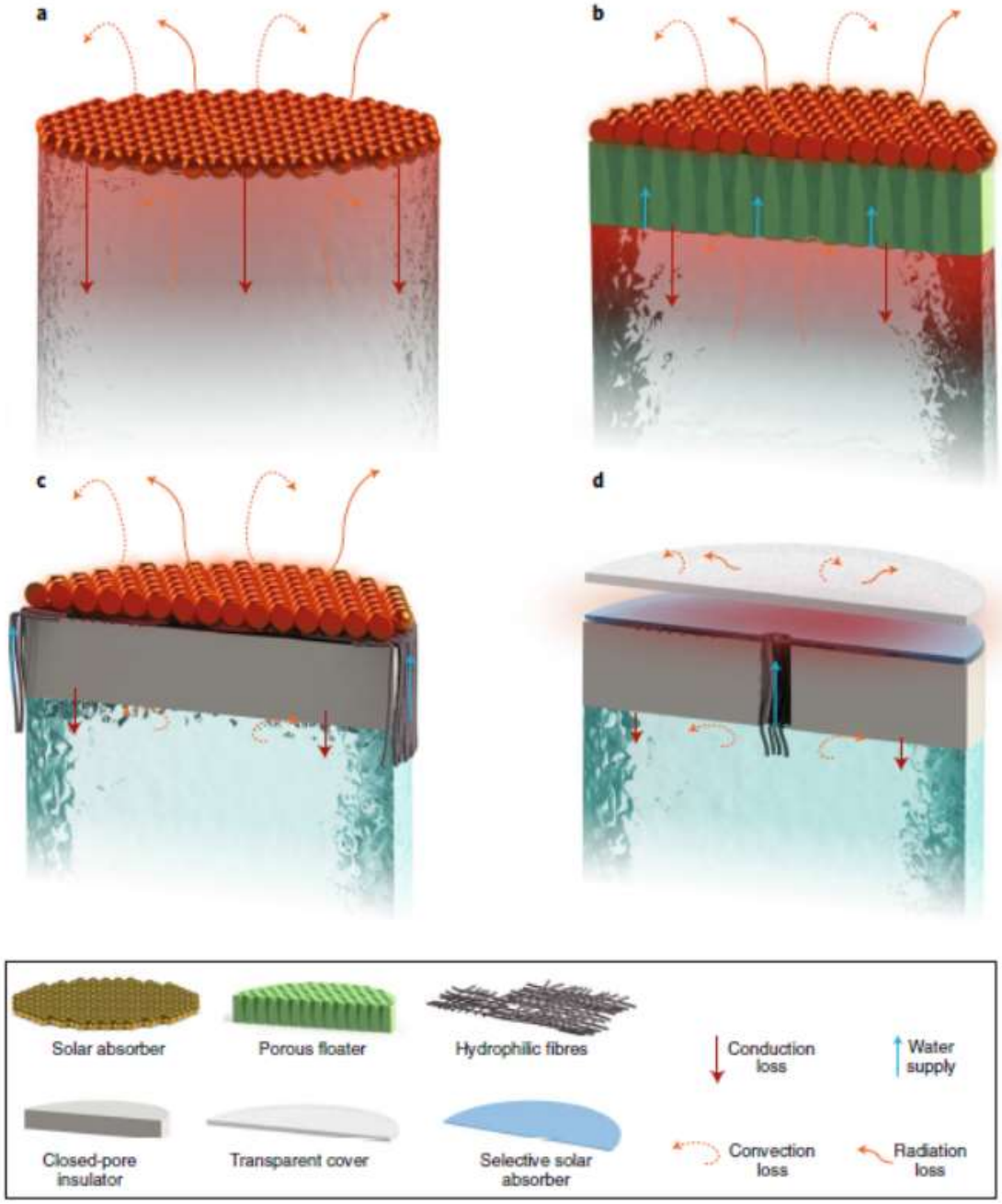
شکل ۱۹. ساختارهای تبخیر خورشیدی لایه‌ای [31]

طراحی عایق حرارتی

DOI:10.30503/nripress.2020.215

طراحی عایق حرارتی مناسب برای محلی‌سازی حرارت در لایه ی تبخیری هوا–آب کلیدی است تا اتلافات حرارتی (اتلاف هدایتی روبه پایین، اتلاف همرفتی و تشعشعی رو به بالا) را کاهش دهد و بازدهی تبخیر را بهبود دهد. اتلاف هدایتی رو به پایین وابسته به ضریب انتقال حرارت عایق و سطح مقطع رویه ی مقابل خورشید جاذب خورشیدی است به کمک دمای اندازه گیری شده ی سطح تبخیر، اتلاف همرفت رو به بالا و تشعشع به صورت نظری قابل تخمین است.برای کاهش اتلاف حرارتی هدایتی رو به پایین از جاذب خورشیدی توده ی آب زیر آن که در یک سیستم تبخیری تک لایه ای رخ می دهد (شکل ۲۰الف) لایه ی عایق حرارتی ساخته شده از فوم کربنی متخلخل می تواند اضافه شود مانند ساختارهای تبخیری دو لایه ای (شکل ۲۰ب) سوراخ های بسته در فوم کربنی متخلخل حاوی هوا است و به صورت قابل توجه ای انتقال حرارتی هدایتی را کاهش می دهد. فوم با این حال حاوی سوراخ های خالی است تا سیال را انتقال دهد تا تبخیر شود و فوم خیس ضریب انتقال حرارتی بالاتری از فوم خشک دارد. در یک مطالعه، جاذب خورشیدی بر روی عایق حرارتی فوم پلی استایرنی گذاشته شد که تنها تخلخل های بسته دارد. فوم با سلولز آب دوست پیچیده شده بود و آب به سمت سطح گرمایشی از طریق اثر مویینگی در سلولز پمپ شد.(شکل ۲۰ج) در یک طراحی جدیدتر درز حرارتی رو به پایین تقریبا حذف شد که این کار با استفاده از عایق حرارتی با تخلخل های بسته با تعداد محدودی سوراخ دریل شده برای اجازه دادن به انتقال مایع انجام شد (شکل ۲۰د) در این مورد سطح تماس بین سطح تبخیر و توده آب کمینه شد و اتلافات حرارتی به سمت سطح بالایی انتقال یافت.

DOI:10.30503/nripress.2020.215



شکل ۲۰. طراحی عایق حرارتی برای سیستم تبخیر خورشیدی لایه‌ای [31]

چشم‌انداز

DOI:10.30503/nripress.2020.215

در سال های اخیر تبخیر لایه ای خورشیدی به صورت گسترده ای از طریق گروه های مختلف در زمینه های گوناگون علمی مورد تحقیق قرار گرفته است با این که مزیت تبخیر لایه ای خورشیدی و بازدهی بهبود یافته ی تبدیل انرژی خورشیدی به بخار به صورت واضحی به نمایش درآمده است تحقیق بنیادی بیشتری برای بهینه سازی کوپل کردن تبدیل انرژی خورشیدی، انتقال انرژی، انتقال جرم و سینتیک پخش شدن بخار در سطح تماس ورد نیاز است تا فهم عمیق تری از فرآیند حاصل شود. یک مثال دستیابی به بازدهی تبدیل خورشیدی به بخار بیشینه بدون وابستگی به متمرکزسازی نور خورشید است بدین منظور تحقیق سیستماتیک اثر طراحی میکرو نانو ساختار و شیمی سطح جاذب خورشیدی ساختار تبخیر و عایق حرارتی بر هر دو رفتار تبخیری دینامیکی و عملکرد تبخیری تعادلی ضروری است توسعه سیستم های تبخیری هوشمند که می تواند وقتی مورد نیاز است کار کند و به صورت اتوماتیک نرخ تبخیر، دمای بخار و جهت انتشار بخار را تنظیم کند و می تواند کاربرد های آن را در سایر ضمینه ها توسعه دهد لذا تنظیم هوشمند فرآینده تعرق با سیستم های بیولوژیکی می تواند الهام‌بخش باشد برای مثال ساختار منحصر به فرد درختان برای انتقال آب موجب الهام بخشی تحقیق در مورد تجهیزات تبخیر خورشیدی با استفاده از چوب پلاسمونیک، چوب پوشیده شده از کربن و چوب کربنی شده به عنوان تبخیر کننده شده است. مزایای تبخیر خورشیدی لایه ای موجب ترکیب تولید بخار خورشیدی با سایر فرآیند های صنعتی شده است تا به کارگیری چند کارکردی استفاده از انرژی خورشیدی بررسی شود. توسعه فرصت ها در این حوزه ی چند رشته ای نیاز به تحلیل های کمی و فهم مکانیکی است و چگونه گرمایش محلی شده جریان سیال و جریان بخار عملکرد سیستم های کمک تبخیری مانند سیستم های تصویه آب فتوکاتالیک را بهبود می بخشد سایر جاذب های خورشیدی که به طور همزمان تابش خورشیدی را به حرارت تبدیل می کند و کاتالیزور فرآیند های شیمیایی است مانند نانو قفس های اکسید تیتانیوم سیاه باید بیشتر توسعه یابد.

فصل چهارم. نتیجه‌گیری

DOI:10.30503/nripress.2020.215

سوخت خورشیدی به خصوص از طریق به‌کارگیری فناوری‌های حرارتی خورشیدی کاربرد فراوانی در صنعت نفت و به طور کلی صنعت انرژی ایران می‌تواند داشته باشد. امروزه در صنعت نفت ما برای تولید هیدروژن از رفورمینگ متان که یک سوخت فسیلی است، استفاده می‌شود که در دمای ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد و در حضور کاتالیست این امر محقق می‌گردد. حال اگر با فناوری‌های حرارتی خورشیدی، حرارت مورد نیاز این فرآیند یا همان آنتالپی مورد نیاز آن برای انجام این تبدیل فراهم شود و موجب تبدیل گاز طبیعی به مونواکسیدکربن و هیدروژن (گاز سنتز) گردد، کاربری یک سوخت خورشیدی را خواهیم داشت و در فرآیندهای پائین‌دستی کاربرد گسترده‌ای خواهد داشت.

کاربرد دیگر این فرآیند در گرمایش منطقه‌ای مناطق مسکونی می‌تواند باشد. می‌توان با فناوری‌های حرارتی خورشیدی متان را رفورم کرد و گاز سنتز تولید کرد و این گاز سنتز را در خطوط لوله در مسافت‌های قابل توجهی انتقال داد و در مقصد با ترکیب مجدد این دو گاز، مجددا متان تولید کرد که فرآیندی گرمازا است و در حقیقت به این وسیله حرارت خورشیدی به راحتی جابجا شده است و می‌تواند این فرآیند در گرمایش منطقه‌ای یا تامین حرارت مورد نیاز فرآیندها کاربرد داشته باشد. یعنی تبدیل انرژی حرارتی خورشیدی به انرژی شیمیائی انجام شده است و در یک فرآیند برگشت‌پذیر مجددا متان تولید شده است و حرارت مورد نیاز جایجا شده است. این راهکار برای کشورهای نفتی با تابش فراوان خورشید بسیار مناسب خواهد بود و متناسب با زیرساخت‌های فسیلی آن برای دوره گذار به انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد بود. این روش برای کشور ما مناسب‌تر از توسعه مواد جدید جهت تولید سوخت خورشیدی خواهد بود.

پیاده‌سازی فرآیندهای تبخیر لایه‌ای خورشیدی نیازمند تحقیق و توسعه در هر دو سطح مواد و سیستم‌ها است تا ساختن آن به ابعاد تجاری برسد. مواد تبدیل انرژی خورشیدی به حرارتی پربازده، ارزان، سبک و محکم مواد تامین آب و مواد عایق‌سازی شناور که به صورت تجاری در دسترس است و می‌تواند با هزینه کم تولید شود باید شناسایی گردد. آب‌شیرین‌سازی موفق و فناوری های تولید توان از طریق شوری لازم است از رسوب نمک جلوگیری کند در سطح سیستمی ارزشمند است که سیستم‌های تبخیر لایه‌ای خورشیدی را با سیستم های خورشیدی – تجاری یکپارچه کنند تا به صورت مستقیم سیکل های حرارتی و ترموشیمیایی را برای تولید شیمیایی دور از شبکه به حرکت در بیاورند. با وجودی که تحقیق و توسعه‌ی بیشتری مورد نیاز است مزایای طراحی های تبخیر محلی شده موجب تبخیر لایه‌های خورشیدی می‌شود و نه فقط موجب شتاب بخشی به کارگیری انرژی خورشیدی می‌شود بلکه الهام‌بخش سایر فرآیندهای انرژی که در حال حاضر با انرژی خورشید کار نمی‌کنند.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

موضوع مهم تحقیقاتی دیگر بررسی استراتژی های جدید است که می تواند تبخیر لایه ای خورشیدی را با سایر فرآیند های خورشیدی– حرارتی یا خورشیدی– شیمیایی برای تمام ترکیب های شیمیای خورشیدی، ساخت مواد و فرآیند های صنعتی مانند تقطیر و استریل سازی به کار رود. برای این فرآیند ها که در مقابل توزیع فوتون های خورشیدی حساس است فناوری های جداسازی طیفی و راهنمای نور فیبرهای نوری تکنیک هایی که در سایر حوزه های کشت انرژی خورشیدی کاربرد دارد می تواند برای این سیستم ها به کار رود یکپارچه سازی فنآوری های ذخیره سازی انرژی خورشیدی حرارتی به سیستم های تبخیر خورشیدی لایه ای می تواند مشکل تناوب تابش خورشید که وابسته به آب و هوا است را حل کند.

DOI:10.30503/nripress.2020.215

منابع

[1] *A. Mustafa, B. G. Lougou, Y. Shuai, Z. Wang, and H. Tan, "Current technology development for CO2 utilization into solar fuels and chemicals: A review,"* J. Energy Chem., *vol. 49, pp. 96–123, 2020.*

[2] *S. Fukuzumi, "Production of Liquid Solar Fuels and Their Use in Fuel Cells,"* Joule, *vol. 1, no. 4, pp. 689–738, 2017.*

[3] *T. Kulandaivalu, A. R. Mohamed, K. A. Ali, and M. Mohammadi, "Photocatalytic carbon dioxide reforming of methane as an alternative approach for solar fuel production-a review,"* Renew. Sustain. Energy Rev., *vol. 134, 2020.*

[4] *H. Song, X. Meng, Z. jun Wang, H. Liu, and J. Ye, "Solar-Energy-Mediated Methane Conversion,"* Joule, *vol. 3, no. 7, pp. 1606–1636, 2019.*

[5] *N. S. Lewis, "Research opportunities to advance solar energy utilization,"* Science (80-.)., *vol. 351, no. 6271, 2016.*

[6] *S. Chu, Y. Cui, and N. Liu, "The path towards sustainable energy,"* Nat. Mater., *vol. 16, no. 1, pp. 16–22, 2016.*

[7] *G. W. Crabtree and N. S. Lewis, "Solar energy conversion,"* Phys. Today, *vol. 60, no. 3, pp. 37–42, 2007.*

[8] *S. A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications,"* Prog. Energy Combust. Sci., *vol. 30, no. 3, pp. 231–295, 2004.*

[9] *L. A. Weinstein, J. Loomis, B. Bhatia, D. M. Bierman, E. N. Wang, and G. Chen, "Concentrating Solar Power,"* Chem. Rev., *vol. 115, no. 23, pp. 12797–12838, 2015.*

[10] *M. L. Roderick and G. D. Farquhar, "The cause of decreased pan evaporation over the past 50 years.,"* Science, *vol. 298, no. 5597, pp. 1410–1, 2002.*

[11] *A. Ohmura and M. Wild, "Climate change: Is the hydrological cycle accelerating?,"* Science (80-.)., *vol. 298, no. 5597, pp. 1345–1346, 2002.*

[12] *H. M. Qiblawey and F. Banat, "Solar thermal desalination technologies,"* Desalination, *vol. 220, no. 1–3, pp. 633–644, 2008.*

[13] *D. Mills, "Advances in solar thermal electricity technology,"* Sol. Energy, *vol. 76, no. 1–3, pp. 19–31, 2004.*

[14] *O. Neumann* et al., *"Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles,"* Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., *vol. 110, no. 29, pp. 11677–11681, 2013.*

[15] *E. Zarza* et al., *"Direct steam generation in parabolic troughs: Final results and conclusions of the DISS project,"* Energy, *vol. 29, no. 5–6, pp. 635–644, 2004.*

[16] *M. Thirugnanasambandam, S. Iniyan, and R. Goic, "A review of solar thermal*

DOI:10.30503/nripress.2020.215

technologies," Renew. Sustain. Energy Rev., *vol. 14, no. 1, pp. 312–322, 2010.*

[17] C. Bachhuber, "Energy from the evaporation of water," Am. J. Phys., *vol. 51, no. 3, pp. 259–264, 1983.*

[18] A. H. Cavusoglu, X. Chen, P. Gentine, and O. Sahin, "Potential for natural evaporation as a reliable renewable energy resource," Nat. Commun., *vol. 8, no. 1, 2017.*

[19] A. E. Kabeel and S. A. El-Agouz, "Review of researches and developments on solar stills," Desalination, *vol. 276, no. 1–3, pp. 1–12, 2011.*

[20] T. P. Otanicar, P. E. Phelan, R. S. Prasher, G. Rosengarten, and R. A. Taylor, "Nanofluid-based direct absorption solar collector," J. Renew. Sustain. Energy, *vol. 2, no. 3, 2010.*

[21] O. Neumann, A. S. Urban, J. Day, S. Lal, P. Nordlander, and N. J. Halas, "Solar vapor generation enabled by nanoparticles," ACS Nano, *vol. 7, no. 1, pp. 42–49, 2013.*

[22] G. Ni et al., *"Volumetric solar heating of nanofluids for direct vapor generation,"* Nano Energy, *vol. 17, pp. 290–301, 2015.*

[23] H. Jin, G. Lin, L. Bai, A. Zeiny, and D. Wen, "Steam generation in a nanoparticle-based solar receiver," Nano Energy, *vol. 28, pp. 397–406, 2016.*

[24] K. Hisatake, S. Tanaka, and Y. Aizawa, "Evaporation rate of water in a vessel," J. Appl. Phys., *vol. 73, no. 11, pp. 7395–7401, 1993.*

[25] R. Prasher, P. E. Phelan, and P. Bhattacharya, "Effect of aggregation kinetics on the thermal conductivity of nanoscale colloidal solutions (nanofluid)," Nano Lett., *vol. 6, no. 7, pp. 1529–1534, 2006.*

[26] A. Ghadimi, R. Saidur, and H. S. C. Metselaar, "A review of nanofluid stability properties and characterization in stationary conditions," Int. J. Heat Mass Transf., *vol. 54, no. 17–18, pp. 4051–4068, 2011.*

[27] Y. Chen et al., *"Stably dispersed high-temperature Fe3O4/silicone-oil nanofluids for direct solar thermal energy harvesting,"* J. Mater. Chem. A, *vol. 4, no. 44, pp. 17503–17511, 2016.*

[28] F. Yu et al., *"Dispersion stability of thermal nanofluids,"* Prog. Nat. Sci. Mater. Int., *vol. 27, no. 5, pp. 531–542, 2017.*

[29] Z. Wang et al., *"Bio-inspired evaporation through plasmonic film of nanoparticles at the air-water interface,"* Small, *vol. 10, no. 16, pp. 3234–3239, 2014.*

[30] H. Ghasemi et al., *"Solar steam generation by heat localization,"* Nat. Commun., *vol. 5, 2014.*

[31] P. Tao et al., *"Solar-driven interfacial evaporation,"* Nat. Energy, *vol. 3, no. 12, pp. 1031–1041, 2018.*

DOI:10.30503/nripress.2020.215

[32] *L. Zhou* et al., *"3D self-assembly of aluminium nanoparticles for plasmon-enhanced solar desalination,"* Nat. Photonics, *vol. 10, no. 6, pp. 393–398, 2016.*

[33] *A. B. Kuzmenko, E. Van Heumen, F. Carbone, and D. Van Der Marel, "Universal optical conductance of graphite,"* Phys. Rev. Lett., *vol. 100, no. 11, 2008.*

[34] *G. Xue* et al., *"Robust and Low-Cost Flame-Treated Wood for High-Performance Solar Steam Generation,"* ACS Appl. Mater. Interfaces, *vol. 9, no. 17, pp. 15052–15057, 2017.*

[35] *J. Lou* et al., *"Bioinspired Multifunctional Paper-Based rGO Composites for Solar-Driven Clean Water Generation,"* ACS Appl. Mater. Interfaces, *vol. 8, no. 23, pp. 14628–14636, 2016.*

[36] *M. L. Brongersma, N. J. Halas, and P. Nordlander, "Plasmon-induced hot carrier science and technology,"* Nat. Nanotechnol., *vol. 10, no. 1, pp. 25–34, 2015.*