Archive of SID

بررسی شیرین سازی آب خورشیدی با استفاده از جاذبهای نانوساختار

محمد مهدی احدیان[۱]

۱. پژوهشکده علوم و فناوری نانو، دانشگاه صنعتی شریف

ahadian@sharif.edu

چکیده

شیرین سازی آب دریا با استفاده از جذب نور خورشید و تبخیر آب از رویکردهای پیش روی چالش کمبود آب است. در این مقاله استفاده از جاذبهای نانوساختار برای جذب نور خورشید مطرح شده و بازده بالاتر آن در مقایسه با سایر جاذبها مورد بحث قرار می‌گیرد. همچنین استفاده از بخار تولید شده در روش شیرین‌سازی تقطیر چند مرحله‌ای (Multi Effect Distillation) مورد بحث قرار می‌گیرد. نانوساختارها شامل نانوذرات پلاسمونی طلا، نقره و نیترید تیتانیم و نیز نانوساختارهای کربنی با تقویت موضعی شدت میدان الکترومغناطیسی در فواصل نزدیک خود منجر به تولید بخار در دمای پائینتری می‌شوند. این پدیده زمانیکه نانوساختارها در فاصله اندکی نسبت به هم قرار داشته باشند تشدید می‌شود. به این ترتیب در حالیکه آب در دمای پائینتری است، بخار تولید می‌شود و اتلاف حرارتی پائینتری وجود دارد. برای افزایش بازده، از کاهش فشار محفظه جاذب نور خورشید استفاده شد. با استفاده از عدسی فرنل نور خورشید بر روی نانوذرات پخش شده در آب خالص متمرکز شد در حالیکه فشار محفظه با استفاده از پمپ خلاء کاهش یافته بود. به منظور استفاده از این جاذبها در شیرین‌سازی چند مرحله‌ای ضرورت دارد آب خالص در یک چرخه بسته در بخش جاذب نور خورشید مورد استفاده قرار گرفته و بخار تولید شده برای تبخیر آب مورد نظر استفاده شود. انتظار می‌رود با استفاده از جاذبهای نانوساختار بازده آب شیرین‌کنهای خورشیدی بهبود یابد.

کلمات کلیدی: شیرین سازی آب، نانوفناوری، نور خورشید، تولید بخار

مقدمه

دستیابی به آب شیرین یکی از چالشهای پیش رو در بخش بزرگی از اقلیم کشور است و کمبود بارش و عدم دسترسی به منابع آب معضل بزرگی برای توسعه پایدار کشور به شمار می رود. روشهای نوین شیرین سازی آب راهکار مناسبی برای مقابله با این چالش فراهم می کند به ویژه آنکه با توجه به دسترسی به آبهای آزاد در کرانه شمالی خلیج فارس و دریای عمان فرصت مناسبی برای شیرین سازی آب دریا وجود دارد. با این وجود مصرف انرژی این روشها با توجه به شدت مصرف انرژی در کشور و انتشار گاز گلخانه ای دی اکسید کربن ناشی از سوختهای فسیلی خود چالش دیگری را

www.SID.ir

Archive of SID

ایجاد می کند. این بدین معنا است که بخش بزرگی از منابع انرژی کشور به عنوان سرمایه نسلهای آتی، صرف فرایند شیرین سازی می شود. همچنین انتشار بیش از پیش دی اکسید کربن و دیگر گازهای آلاینده اقدامی غیر مسئولانه است که منجر به تغییرات اقلیمی شده و به احتمال زیاد تبعات جدی برای اقلیم کشور خواهد داشت. استفاده از انرژیهای سبز و تجدیدپذیر راه مناسبی را فراهم می کند و در این میان انرژی خورشیدی یکی از گزینه های جدی برای فرایند شیرین سازی آب است. میزان تابش بالای نور خورشید در سواحل جنوبی کشور منبع انرژی مناسبی را فراهم می کند و در صورت اقتصادی شدن فرایند شیرین سازی آب فرصتهای قابل توجهی در کرانه های جنوبی شکل خواهد گرفت .

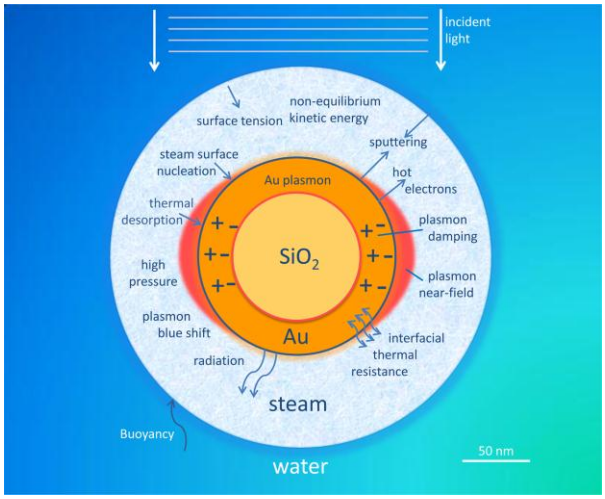
استفاده از انرژی خورشیدی به منظور شیرین سازی آب دریا سابقه طولانی دارد و روشهای مرسوم مبتنی بر جذب نور خورشید، تبخیر آب و سپس جمع آوری آب است. با استفاده از یک مخزن آب و پوشش شفاف که نقش جمع کننده را دارد این روش مورد استفاده قرار گرفته است ولی با وجود سادگی در اجرا بازدهی اندکی داشته و این بازده پائین مانع کاربرد گسترده این روش می شود. یکی از دلایل این بازده پایین میزان اندک جذب انرژی نور خورشید توسط آب است. در روشهای جدیدتر، انرژی خورشیدی توسط یک جاذب به انرژی حرارتی تبدیل شده و این گرما به آب منتقل شده و موجب تبخیر آن می شود. به این منظور جاذبهای متنوعی مورد استفاه قرار گرفته که امکان جذب بخش عمده ای از طیف نور خورشید را دارند. با این وجود اتلاف حرارتی ناشی از بالا رفتن دمای جاذب منجر به کاهش بازدهی آب شیرین کن می گردد. استفاده از خلاء در پیرامون سطح جاذب نور روش مرسومی است که به خوبی برای کاربردهای آب گرمکن خورشیدی مورد استفاده قرار گرفته است. این تمهیدات منجر به هزینه اولیه بالاتر می شود ولی میزان افزایش بازده به میزان است که منجر به برتری این شیوه ها می‌گردد. از سویی دیگر کاهش فشار در محفظه تبخیر آب منجر به کاهش دمای لازم برای تبخیر آب می شود که خود به معنای اتلاف حرارتی کمتر است. این امر مزایای دیگری نیز دارد که از جمله کاهش میزان رسوب بر روی جداره داخلی دستگاه است و این شیوه به صورت گسترده در آب شیرین کنهای حرارتی از جمله در روش شیرین‌سازی چند مرحله‌ای (Multi Effect Distillation) به صورت مناسبی مورد استفاده قرار گرفته است. اخیرا استفاده از نانوساختارها به عنوان جاذب نور خورشید مورد توجه قرار گرفته است و انتظار می رود که منجر به افزایش بازده در شیرین سازی گردد. این نانوساختارها به صورت موضعی دمای آب را بالا برده و منجر به تولید بخار می شوند و به این دلیل اتلاف حرارتی پائینتری وجود دارد. در این مقاله با مرور فعالیتهای انجام گرفته در این حوزه، پژوهش انجام گرفته مرور شده و نحوه استفاده از آن در مقیاس صنعتی مورد بحث قرار می گیرد. عدم نیاز به الکتریسیته و حاملهای انرژی در مناطق محروم استفاده از این شیوه شیرین‌سازی آب را مزیت می بخشد. با توجه به آسانی ذخیره آب، محدود بودن ساعات دسترسی به نور خورشید مشکلی ایجاد نمی‌کند درحالیکه استفاده از سلولهای فتوولتایی با توجه به هزینه بالای ذخیره سازی انرژی الکتریکی هزینه استفاده را افزایش می‌دهد.

روش کار

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از نانوساختارها برای تولید بخار توسط گروه هالاس معرفی شده است (Neumann و همکاران، ۲۰۱۳). روش پیشنهادی به این صورت است که نانوذرات به ویژه نانوذرات دارای خاصیت پلاسمونی شامل طلا و نقره در آب پراکنده شده و آب در محفظه ای در معرض نور متمرکز شده خورشید قرار می گیرد. براساس مدلهایی که در مقیاس نانو ارائه شده، شدت میدان الکتریکی به صورت موضعی در سطح نانوذرات افزایش می یابد. به دلیل برهمکنش میدان الکترومغناطیسی نور تابیده شده با نانوذره، میدان در اطراف نانوذره تشدید می شود و دما می تواند به میزان قابل توجهی (حتی تا دمای ذوب نانوذره) بالا رود. در صورتیکه شدت نور از آستانه مشخصی بالاتر باشد، آب در اطراف نانوذره به فاز بخار درمی‌آید و فشار بخار با کشش سطحی آب در مرز مشترک به تعادل می رسد. با تولید بخار مجموع نانوذره و حباب ایجاد شده سبکتر از آب شده، به سمت سطح آب حرکت کرده و بخار آزاد می شود و این چرخه تا زمانیکه شدت نور بیش از آستانه باشد ادامه خواهد داشت.



شکل ۱) ایده تولید بخار با استفاده از نانوذرات (Polman، ۲۰۱۳)

این پدیده در شکل ۱ به صورت شماتیک نشان داده شده است. مزیت اصلی نانوذرات در این است که می توانند به صورت موضعی دمای آب را بالا برده و انرژی جذب شده به میزان بیشتری صرف تولید بخار شود. این پدیده بر روی سطوح فلزی نیز مشاهده شده و همچنین در کاربرد نانوذرات در معرض پالس لیزرهای پرتوان با دقت مورد بررسی قرار گرفته است. ولی ایده استفاده از این پدیده در معرض نور خورشید سابقه زیادی ندارد. با استفاده از نانوذرات طلا و کربن در فشار اتمسفر، تولید بخار با استفاده از نور خورشید در مقیاس آزمایشگاهی انجام گرفته درحالیکه دمای آب در پائینتر از دمای جوش آن قرار دارد. این ایده برای استرلیزه کردن تجهیزات در نقاط دور افتاده نیز پیشنهاد شده است (Neumann و همکاران، ۲۰۱۳b).

نانوذرات معمول برای این فرایند از جنس طلا و نقره است. نانوذرات نیترید تیتانیم به دلیل پایداری در دمای بالا و قیمت مناسب پیشنهاد شده است (Ahadian، ۲۰۱۴). در این پژوهش نانوذرات طلا، نقره و ساختارهای کربنی شامل گرافن و دوده صنعتی نیز در این رابطه مورد بررسی قرار گرفت. پس از مشخصه یابی نانوذرات، محلول پایدار هر یک از نانوذرات در آب مقطر ایجاد شد. این محلول در ظرف شفافی در داخل محفظه خلاء قرار داده شد و ماده عایقی برای

www.SID.ir

Archive of SID

کاهش تبادل حرارتی زیر آن قرار گرفت. کل این مجموعه بر روی یک ترازوی دیجیتال قرار گرفت تا به صورت پیوسته وزن مایع اندازه گیری گردد. به منظور رسیدن به خلاء از یک پمپ دیافراگمی استفاده شد. پیش از پمپ یک تله سرد بخار آب را به صورت مایع درآورده و مانع رسیدن آب به پمپ می شود و آب جمع‌آوری شده مورد آنالیز قرار می‌گیرد. برای افزایش شدت نور خورشید از یک عدسی فرنل به ابعاد cm^2 ۸۸*۶۵ استفاده شد و عدسی به نحوی تنظیم شد تا نقطه کانونی در داخل مایع قرار گیرد. برای اندازه‌گیری توان نور خورشید مطابق شکل ۲، دستگاه اندازه گیری توان نور خورشید مدل TES-1333R شرکت TES عمود بر جهت عدسی نصب گردید و هر ثانیه توان نور خورشید اندازه‌گیری شد. در نهایت میزان بخار تولید شده اندازه گیری شد و کیفیت آن با استفاده از دستگاه پلاسما جفت شده القایی (Plasma Inductive Coupled) شرکت Spectro مدل Acros بررسی شد.

شکل ۲) مجموعه آزمایشگاهی بررسی تولید بخار با استفاده از نانوذرات

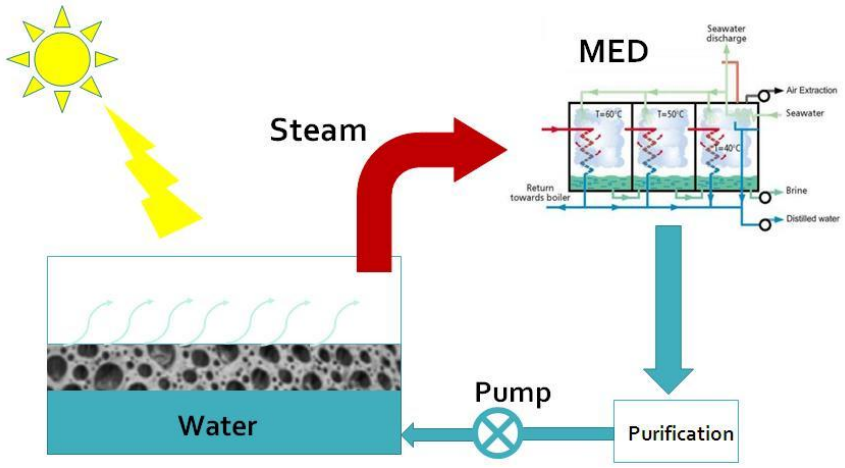
بحث و نتیجه گیری

با کاهش فشار در محفظه حبابهای بزرگی در محلول مشاهده شد و تفاوت در نحوه جوشش با آب خالص کاملا مشهود است. با اندازه گیری انرژی تابشی خورشید در یک بازه زمانی با انتگرال‌گیری توان نور خورشید و لحاظ سطح عدسی و نیز اندازه گیری میزان کاهش وزن محلول، با توجه به گرمای نهان تبخیر آب در فشار مورد آزمایش، بازده فرایند اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که این بازده به شدت تابع غلظت نانوذرات است و در غلظتهای بالا بازده بالاتری قابل دستیابی است. بیشترین بازده برای نانوذرات گرافن به میزان ۷۰٪ به دست آمد که در مقایسه با روشهای متعارف بازده قابل توجهی است. همچنین میزان آب جمع آوری شده در بخش تله سرد با میزان تبخیر همخوانی داشت. میزان ناخالصیهای آب به میزانی بود که برای کاربردهای شرب و صنعتی مناسب است. در این فرایند با کاهش فشار امکان حذف عدسی نیز وجود دارد ولی بازده تولید بخار کاهش می‌یابد. اثر غلظت با توجه به مشاهدات مربوط به هم افزایی اثر نانوساختارها در زمانی که در نزدیک یکدیگر قرار داشته باشند قابل توجیه است (Ghasemi و همکاران، ۲۰۱۴).

www.SID.ir

Archive of SID

با وجود نتایج مناسبی که به اجمال اشاره شد باید توجه نمود که نمی توان از این روش برای تقطیر مستقیم آب دریا استفاده کرد. در صورتیکه آب ناخالص به همراه نانوذرات مورد استفاده قرار گیرد، غلظت ناخالصی با تبخیر افزایش یافته و به سرعت سیستم غیر قابل استفاده می‌شود. از سویی نمی توان به دلیل وجود نانوذرات این آب تغلیظ شده را در محیط رها نمود. با توجه به این مسئله روش پیشنهادی برای استفاده از قابلیت نانوساختارها در شکل ۳ نشان داده شده است. به دلیلی که اشاره شد ضرورت دارد آب مقطر در معرض نانوذرات قرار داشته باشد و در یک چرخه بسته تبدیل به بخار شده و پس از مایع شدن دوباره به محفظه اصلی بازگردد. با توجه به اندازه‌گیری کیفیت آب خروجی ضرورت دارد که ناخالصیهای این آب به روشی مانند استفاده از رزین حذف گردد تا همیشه نانوذرات به همراه آب خالص در محفظه وجود داشته باشد. با این روش کیفیت آب به ۱۸.۲ MΩ.cm رسید که تضمین کننده امکان استفاده بلندمدت از محلول حاوی نانوذرات است و تا زمانیکه شدت نور خورشید به میزان کافی باشد تولید بخار انجام می‌گیرد. با توجه به فشار بخار تولید شده که کمتر از اتمسفر است، با تغییراتی در روشهای متعارف شیرین‌سازی تقطیر چند مرحله‌ای (MED) می‌توان از این بخار برای تبخیر آب دریا استفاده کرد. بخار در بخش اول دستگاه MED وارد شده و در حالیکه آب دریا در محفظه‌ای با فشار پائینتر قرار دارد، موجب تبخیر آب دریا می‌شود. برای بازده این فرایند می‌تواند مجددا تکرار شده و بخار تولید شده از آب دریا خود حجم دیگری از آب دریا را تبخیر نماید. با توجه به اینکه در داخل کشور در رابطه با ساخت دستگاههای MED سابقه و توانمندی بالایی وجود دارد، این روش می‌تواند به صورت بومی اجرا گردد. همچنین با استفاده از ساختارهای کربنی تثبیت شده انتظار می‌رود بازده بالاتری قابل دستیابی باشد (Ghasemi و همکاران، ۲۰۱۴).



شکل ۳) ایده استفاده از بخار تولید شده در شیرین سازی آب

منابع

- Ahadian MM. (2014) Steam Generation under Sunlight Using TiN Plasmonc Nanoparticles, Proceedings of the 5thInternational Conference on Nanostructures, 6-9 March 2014, Kish Island, Iran, Vol. 1, 499-501.

www.SID.ir

Archive of SID

- Ghasemi H, Ni G, Marconnet AM, Loomis J, Yerci S, Miljkovic N, Chen G. (2014) Solar steam generation by heat localization 5. *Nature Communications*, 4449,1-7.
- Neumann O, Urban AS, Day J. Lal S, Nordlander P, Halas NJ. (2013) Solar vapor generation enabled by nanoparticles 7. *ACS Nano*, 42-49.
- Neumann O, Ferontic C, Neumann AD, Dongd A, Schelld K, Lue B, Kime E, Quinne M, Thompson S, Grady N, Nordlander P, Odene M, Halas NJ. (2013) Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles 110. *P. Natl. Acad. Sci. USA*, 11677-11681.
- Polman A. (2013) Solar Steam Nanobubbles 7. *ACS Nano*, 15-18.

www.SID.ir