هجدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها

18th Fluid Dynamics Conference

دانشگاه فردوسی مشهد

سازمان هواشناسی کشور

I.R. OF IRAN METEOROLOGICAL ORGANIZATION

باسمه تعالی

گواهی ارائه مقاله

بدینوسیله گواهی می‌شود که مقاله با عنوان

تولید بخار خورشیدی با استفاده از نانوتکنولوژی و روش تبخیر سطحی

توسط نویسندگان

زهره اکبری، محمد مصطفی غفوریان، حمید نیازمند

در هجدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها مورخ ۵ و ۶ شهریورماه ۱۳۹۸ در دانشگاه فردوسی مشهد ارائه شده است.

دکتر حمید نیازمند

دبیر کنفرانس

هجدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها

تولید بخار خورشیدی با استفاده از نانوتکنولوژی و روش تبخیر سطحی

زهره اکبری
دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
Zohre.akbari1995@mail.um.ac.ir

محمدمصطفی غفوریان
دانشجوی دکترا، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
m.m.ghafoorian@mail.um.ac.ir

حمید نیازمند
استاد، گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد
niazmand@um.ac.ir

چکیده

کاهش ذخایر آب شیرین و افزایش تقاضا برای آن توجه بسیاری از محققان را به تولید آب شیرین از آب دریا با استفاده از انرژی خورشیدی، به عنوان یک انرژی پاک و قابل دسترس، جلب نموده است. در این پژوهش، مطالعه ی تجربی تولید بخار خورشیدی، به روش سطحی با استفاده از مواد سلولزی (به عنوان ماده آب‌دوست برای انتقال آب از حجم سیال به سطح) و فوم (به عنوان ماده عایق جهت جلوگیری از اتلاف حرارت و افزایش دمای سیال) بررسی شد. به منظور افزایش جذب نور خورشید نیز از نانولوله های کربنی چندجداره، استفاده شده که سبب افزایش نرخ تبخیر و در نتیجه بهبود راندمان تبخیر شده است. نتایج نشان داد که استفاده از فوم عایق با پوشش ماده سلولزی و کربن نانولوله‌ای چند جداره، نرخ تبخیر را به میزان ۲/۴۴ برابر نسبت به آب دریا در شدت تابش نور ۳ سان (۱ سان معادل با $1\ kW/m^2$)، افزایش داده‌است که نشان دهنده‌ی عملکرد مناسب استفاده از روش سطحی در تولید بخار خورشیدی است.

کلمات کلیدی: تبخیر سطحی، نانوسیال، بخار خورشیدی، کربن نانولوله‌ای چند جداره

فهرست علائم

A	مساحت سطح نمونه
h	آنتالپی
I	چگالی شدت تابش نور
$\dot{m}$	نرخ تبخیر

علائم یونانی

η	بازده

زیر نویس

fg	تغییر فاز

۱- مقدمه

تامین انرژی، یکی از مهم‌ترین مسائلی است که بشر همواره با آن روبه‌رو بوده است. در سال‌های اخیر، با کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی و هم‌چنین به دلیل وجود مشکلات زیست‌محیطی حاصل از این نوع سوخت‌ها، انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع انرژی جایگزین، مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی پاک، دردسترس و تجدیدپذیر، پتانسیل بالایی در استفاده در سیستم‌های فتوولتائیک[۱]، تامین آب شیرین[۲]، تصفیه فاضلاب[۳]، استریل نمودن تجهیزات پزشکی[۴] و گرمایش خورشیدی[۵] دارد.

یکی از مهم‌ترین کاربردهای انرژی خورشیدی، زدودن نمک آب دریا و تامین آب شیرین است. استفاده از روش‌های سنتی به منظور تصفیه آب دریا، نیازمند صرف انرژی بسیار بالایی است و از طرفی دارای راندمان قابل توجهی نیز نیستند. به منظور بهبود راندمان سیستم‌های تبخیر خورشیدی، از دو روش سطحی و حجمی استفاده می‌شود. در روش حجمی، مقدار مشخصی

از نانوذره در درون سیال پایه آب پراکنده شده و یک محلول کاملا پایدار به د ست می‌آید و سپس کل محلول در معرض نور خور شید قرار می‌گیرد[۶]. محققان بسیاری نظیر غفوریان و همکاران[۷] و زحمت‌کش و همکاران[۸] تولید بخار خور شیدی به این روش را برای نانوسیال‌های اکسید گرافن[۷] و اکسید آهن (مگمایت)[۸]، بررسی کردند و نشان دادند استفاده از این نانوسیال‌ها، موجب بهبود عملکرد تبخیر شده است. در حقیقت استفاده از نانوسیال موجب افزایش جذب نور خورشید و محلی سازی گرما در توده‌ی سیال می شود، بنابراین سبب افزایش نرخ تبخیر نسبت به آب می شود، با این حال این مو ضوع دمای کلی سیال را نیز افزایش خواهد داد؛ بنابراین سبب اتلاف بخشی از انرژی جذب شده از طریق افزایش راندمان محسوس خواهد شد.

به منظور بهبود راندمان تبخیر خورشیدی در مقابل استفاده از روش حجمی، از روش سطحی استفاده می‌شود که پارامترهای میزان جذب نور، توانایی کنترل حرارت و قدرت آب‌رسانی و تبخیر در این روش دخیل هستند[۹]. یکی دیگر از پارامترهای مهم هنگام به‌کار گیری روش سطحی، ا ستفاده از یک ماده آب‌دو ست و متخلل شناور بر روی آب ا ست[۱۰]. این ساختارها عایق حرارتی نیز هستند و از انتقال حرارت از سطح آب به حجم سیال جلوگیری می‌کند. یکی از مواد ارزان قیمت و د سترس که دارای ساختار متخلخل و آب دو ست ا ست، چوب می‌با شد که محققین بسیاری از آن در تولید بخار خور شیدی ا ستفاده کرده‌اند[۱۴-۱۱]. فوم پلی‌یورتان[۱۵]، فوم‌های کربنی[۱۶] مواد طبیعی مانند قارچ[۱۷] و ترب کربنیزه شده[۱۸] نیز از دیگر موادی هستند که به علت ساختار متخلخل و عایق خود در تبخیر خور شیدی ا ستفاده شده‌اند. از دیگر عوامل موثر در بهبود راندمان تبخیر خورشیدی، استفاده از یک ماده جاذب نور خورشید مانند مواد فلزی و مواد کربنی است. مواد فلزی با خاصیت تشدید پلاسمونی سطحی نظیر طلا[۱۳]، نقره[۱۳] و پالادیم[۱۳]، اغلب دارای قیمت بالا هستند و استفاده از آن‌ها از لحاظ اقتصادی توجیه‌ناپذیر ا ست. از دیگر مواد جاذب نور، مواد کربنی هستند که دارای قابلیت جذب نور بالا و قیمت منا سب، نظیر اکسید گرافن[۱۴] و اکسید گرافن کاهش یافته[۱۵] هستند.

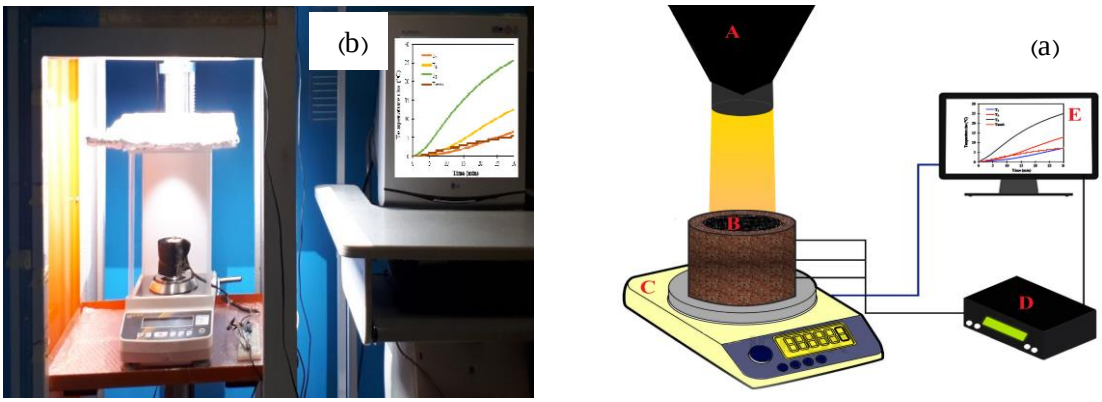
از دیگر موادی که خاصیت مویینگی و آب دوستی بالایی دارند، مواد سلولزی هستند. لذا در پژوهش حاضر، تولید بخار خورشیدی به وسیله نانولوله‌های کربنی چندجداره به دو روش حجمی(با غلظت ۰/۰۰۴ درصد) وزنی و سطحی (با بستر متخلخل سلولزی) بررسی و میزان تبخیر این دو روش در شدت تابش نور ۳ سان به مدت ۳۰ دقیقه بررسی و با یکدیگر و آب دریا مقایسه می‌شود.

۲- بخش آزمایشگاهی

۲-۱- چیدمان آزمایشگاهی

چیدمان آزمایشگاهی تولید بخار خورشیدی در این پژوهش در شکل۱ نشان داده شده است. اجزا استفاده شده شامل شبیه‌ساز نور خورشید با لامپ زنون ۱۶۰۰ وات و با دمای تابش ۶۰۰۰ کلوین ساخت شرکت نانوشات ایران، نمونه آزمایش، ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم ساخت شرکت کرن آلمان، سیستم جمع‌آوری داده ساخت شرکت یگانه تجهیز ویرا و رایانه است. از یک بشر عایق ۷۰ میلی‌لیتر، حاوی سیال آب دریای چابهار و نمونه آزمایش بر روی آن به منظور بررسی اثر تبخیر استفاده شد. سیستم جمع‌آوری داده شامل سه سنسور از نوع پی تی ۱۰۰[1] با دقت ۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد تعبیه شده در ارتفاع‌های ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌متری از کف بشر است. نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در معرض تابش نور قرار گرفته و در این مدت میزان افزایش دما در ارتفاع‌های مختلف بشر و کاهش جرم آب دریا اندازه‌گیری شد.

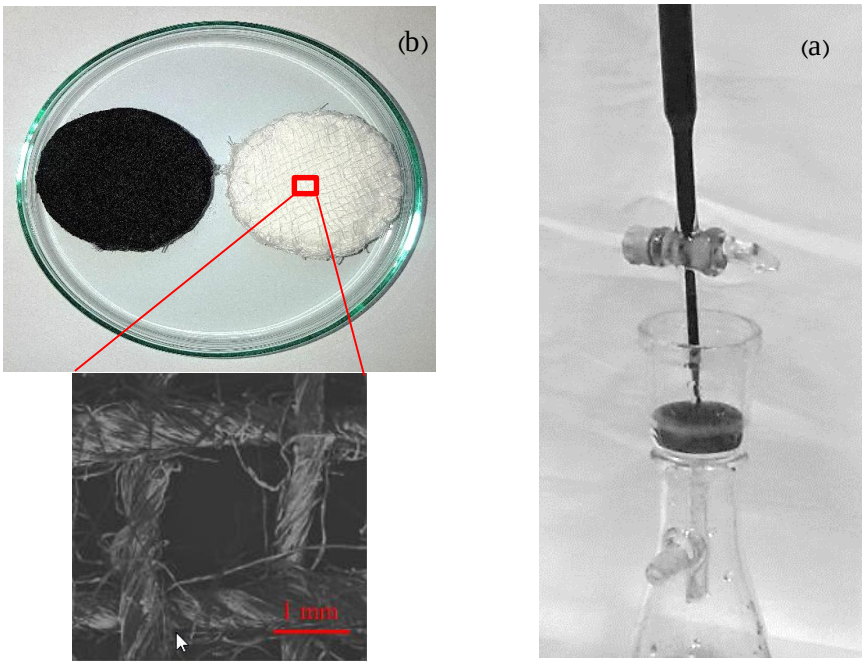
[1] PT 100



شکل ۱: a) شماتیک اجزای چیدمان آزمایشگاهی (A) لامپ زنون (B) نمونه سلولزی با پوشش کربن چندجداره (C) ترازو (D) دیتالاگر (E) رایانه b) تصویر اجزای چیدمان آزمایشگاهی

۲-۲- آماده سازی نمونه

در این پژوهش لازم است تا از یک ماده عایق آب دوست، سبک (شناور در سطح آب)، به منظور محلی‌سازی گرما و جلوگیری از انتقال حرارت از سطح نمونه به حجم آب استفاده شود. خاصیت آب‌دوستی این ماده سبب انتقال آب به سطح نمونه می‌شود. ماده استفاده شده در این آزمایش گاز استریل است. این ماده خاصیت آب‌دوستی را دارا است اما روی سطح آب شناور نیست و به دلیل ضخامت کم عایق خوبی نیز نیست. لذا از یک فوم‌برد با ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر و با قطر ۳/۵ سانتی‌متر استفاده شد و گاز استریل بر روی آن قرار گرفت. به منظور افزایش جذب نور خورشید، نانوذرات نانولوله‌ی کربن چندجداره به عنوان یک ماده جاذب نور به روش پاشش قطره‌ای[1] بر روی سطح نمونه پوشش داده شد. شکل ۲ a، تصویر چیدمان آزمایشگاهی نحوه پوشش دهی نمونه آزمایش و شکل۲ ب تصویر نمونه پوشش داده شده در مقایسه با نمونه بدون پوشش نشان می‌دهد. هم‌چنین برای تهیه نانوسیال نانولوله‌های کربنی چندجداره با غلظت ۰/۰۰۴ درصد وزنی، مقدار مورد نیاز از این نانوذره در سیال آب پایه حل شد و به مدت ۳۰ دقیقه در حمام اولتراسونیک قرار گرفت تا نمونه پایدار به دست آید.

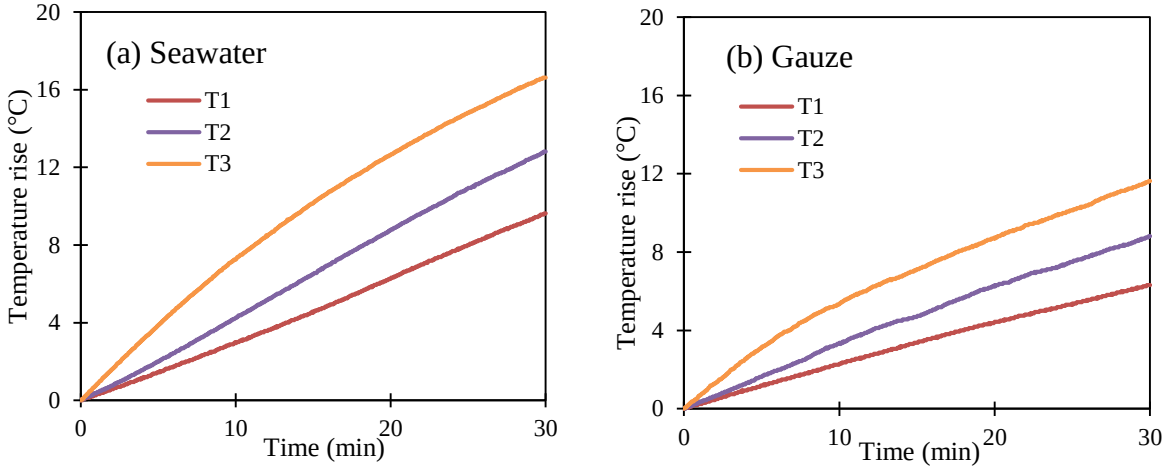


شکل ۲: a) تصویر نحوه پوشش‌دهی نمونه b) نمونه پوشش داده شده در مقایسه با نمونه بدون پوشش به همراه تصویر میکروسکوپ الکترونی گاز استریل

[1] Drop casting

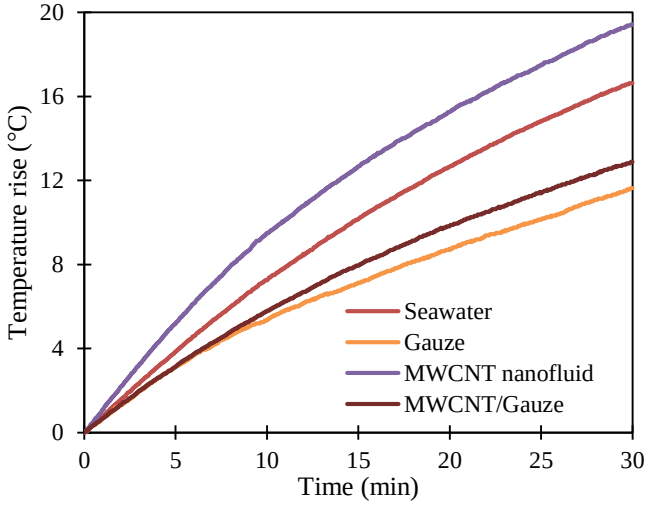
۲-۳- نتایج و بحث

همان‌طور که در قسمت قبل نیز اشاره شد، به منظور بررسی اثر تبخیری، یک بشر حاوی آب دریا و ماده سطحی جاذب شناور بر روی آن به مدت ۳۰ دقیقه تحت تابش نور شبیه‌ساز خورشیدی قرار گرفت. تغییرات دما برای ارتفاع‌های مختلف توسط سنسور و سیستم جمع‌آوری اطلاعات در این مدت ثبت شد. شکل ۳ a و b، تغییرات دمایی برای آب دریا و نمونه سلولزی بدون پوشش را نشان می‌دهد.T_1، نمایانگر دمای بالاترین سنسور است که بیشترین افزایش را در مقایسه با سایر سنسورها در مدت آزمایش دارد به طوری که افزایش دمای T_1 برای آب دریا ۱۶/۶۳ درجه سانتی‌گراد و برای نمونه سلولزی بدون پوشش برابر با ۱۱/۶۳ درجه سانتی‌گراد است و افزایش دمای کلی نیز به ترتیب برابر با ۱۳/۰۲ و ۸/۹۲ درجه سانتی‌گراد است که نشان می‌دهد استفاده از روش سطحی موجب محلی سازی گرما و جلوگیری از اتلاف حرارت از طریق افزایش دمای کلی سیال می‌شود. لازم به ذکر است در روش سطحی، موقعیت T_1 در زیر سطح پایینی نمونه سلولزی و در تماس با آب داخل بشر قرار می‌گیرد. به دلیل عایق بودن نمونه سلولزی، ضریب هدایت حرارتی نمونه کمتر از ضریب هدایت آب دریا است و حرارت منتقل شده از سطح به توده سیال در روش سطحی به میزان قابل توجهی کمتر از نمونه آب دریا به تنهایی است؛ لذا افزایش دمای سنسور T_1 در این روش حدود ۵ درجه کمتر از افزایش دمای این سنسور برای آب دریا است.



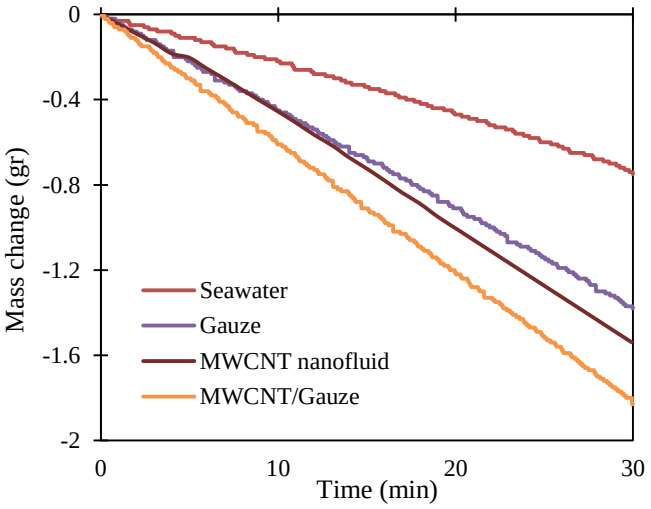
شکل ۳: افزایش دمای سیال در ارتفاع‌های مختلف a) آب دریا b) نمونه سلولزی بدون پوشش

به منظور بررسی دقیق‌تر، افزایش دما برای آب دریا، نانوسیال با غلظت ۰/۰۰۴ درصد وزنی، نمونه سلولزی بدون پوشش و با پوشش نانوذره نانولوله‌ای کربنی چندجداره، در شکل ۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین افزایش دما مربوط به نانوسیال نانولوله‌ای کربنی چندجداره است، زیرا افزودن نانوذره به سیال پایه، به دلیل قانون بیر لمبرت سبب افزایش جذب نور شده و بنابراین افزایش دمای سنسور بالاترین سنسور برای نانوسیال نسبت به آب دریا افزایش می‌یابد. از طرفی انرژی جذب شده توسط نمونه سلولزی با پوشش نانولوله‌های کربنی چندجداره به دلیل وجود این نانوذرات، بیشتر از نمونه سلولزی بدون پوشش سفید رنگ است که طیف وسیعی از نور خورشید را بازتاب می‌کند،که دلیلی بر افزایش دمای بیشتر نمونه سلولزی پوشش داده شده در مقابل نمونه بدون پوشش است. با این حال به دلیل ماهیت عایق نمونه سلولزی، انتقال حرارت به سطح سیال کم بوده و در نتیجه افزایش دما در مقایسه با نمونه بدون پوشش، محسوس نخواهد بود.



شکل ۴: افزایش دمای سنسور T_1 برای آب دریا، نانوسیال کربن نانولوله‌ای چندجداره، نمونه سلولزی بدون پوشش و با پوشش کربن نانولوله‌ای چندجداره

شکل ۵ جرم تبخیر شده برای نمونه‌های آزمایش را نشان می‌دهد. روش حجمی و سطحی هر دو سبب بهبود نرخ تبخیر نسبت به آب دریا شده به طوری که نرخ تبخیر به روش حجمی ۲/۰۴ برابر و به روش سطحی با پوشش کربن نانولوله‌ای چندجداره، ۲/۴۴ برابر نرخ تبخیر آب دریا است که نقش قابل توجه استفاده از این دو روش را در تولید بخار خورشیدی نشان می‌دهد. با این حال روش سطحی عملکرد بهتری نسبت به روش حجمی در تولید بخار خورشیدی دارد به طوری که نرخ تبخیر در روش سطحی تقریبا ۱/۲ برابر روش حجمی است.



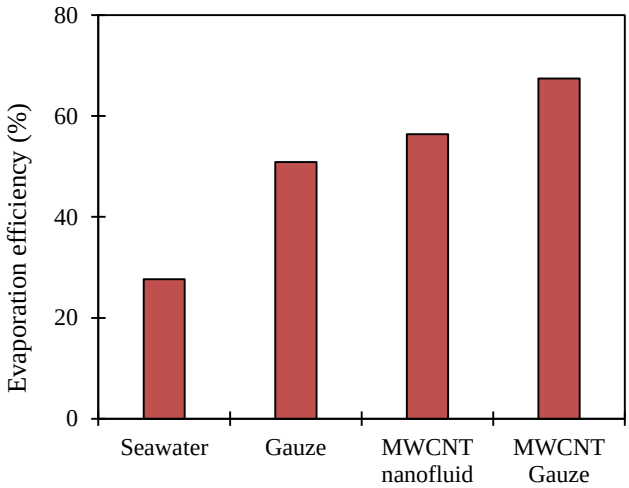
شکل ۵: جرم تبخیرشده آب دریا، نانوسیال کربن نانولوله‌ای چندجداره و نمونه سلولزی بدون پوشش و با پوشش کربن نانولوله‌ای چندجداره

به منظور مقایسه بهتر اثر استفاده از روش سطحی و حجمی در تبخیر خورشیدی، بازده تبخیری نمونه‌های آزمایش شده در شکل۶ آورده شده است. بازده تبخیری طبق رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$\eta_{evaporation} = \frac{\dot{m}h_{fg}}{IA} \qquad (۱)$$

که $\dot{m}$ نرخ تبخیر (کیلوگرم بر مترمربع ساعت)، h_{fg} آنتالپی تغییر فاز آب (۲۲۵۷ kJ.kg در فشار ۱ اتمسفر برای آب خالص) و I چگالی شدت نور(کیلووات بر مترمربع) و A سطح تبخیر(مترمربع) است.

نمونه سلولزی پوشش داده شده با کربن نانولوله‌ای چندجداره بیشترین بازده تبخیری را دارا است به طوری که در شدت تابشی ۳ سان، دارای بازده ۶۷/۴۷ درصد است. پس از آن بیشترین بازده مربوط به نانوسیال کربن نانولوله‌ای چندجداره با غلظت ۰/۰۰۴ درصد وزنی با راندمان ۵۶/۴۱ است که در هر دو روش اثر موثر استفاده از نانوذرات در تولید بخار خورشیدی را نشان می‌دهد. برای ارزیابی کارائی میزان بخار تولیدشده، نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج کارهای قبلی مقایسه شده است و در جدول۱ به صورت خلاصه آورده شده است.



شکل ۶: بازده تبخیری آب دریا، نانوسیال کربن نانولوله‌ای چندجداره و نمونه سلولزی بدون پوشش و با پوشش کربن نانولوله‌ای چندجداره

جدول ۱: راندمان تبخیری گزارش شده در پژوهش‌های پیشین

راندمان تبخیری (٪)	شدت تابش (سان)	نمونه آزمایش شده	مرجع
۸۰	۳	چوب اصلاح شده	[۱۱]
۷۵	۳	Plasmonic wood	[۱۲]
۶۵	۴	RGO polyurethane	[۱۳]
۶۷/۴۷	۳	MWCNT gauze	پژوهش حاضر

۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهش عملکرد نمونه سلولزی پوشش داده شده با کربن نانولوله‌ای چندجداره در تولید بخار خورشیدی بررسی شد. بدین منظور نمونه آزمایش به مدت ۳۰ دقیقه تحت شدت تابش ۳ سان قرار گرفت و تغییرات دما و جرم تبخیر شده در این مدت ثبت شد. هم‌چنین برای مقایسه عملکرد روش حجمی و سطحی، نانو سیال کربن نانولوله‌ای چندجداره با غلظت ۰/۰۰۴ درصد وزنی نیز تهیه شد و مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد در روش سطحی برای نمونه سلولزی بازده تبخیری ۶۷/۴۷ درصد و در روش حجمی بازده تبخیری ۵۶/۴۱ است که به ترتیب ۲/۴۴ و ۲/۰۴ برابر بازده آب دریا است که تاثیر مثبت استفاده ازین نانوذره را در تولید بخار خورشیدی نشان می‌دهد.

مراجع

[1] Green M. A. and Bremner S. P., 2017, Energy conversion approaches and materials for high-efficiency photovoltaics, Nature Materials, vol. 16, pp 23-34.
[2] Ghafurian M. M., Niazmand H., Akbari Z. and Bakhsh Zahmatkesh B., 2019, Performance evaluation of Ferric oxide (Fe3O4) and Graphene nanoplatelet (GNP) nanoparticles in solar steam generation, Journal of Solid and Fluid Mechanics.
[3] Higgins M. W., Rahmaan AR. S., Devarapalli R. R., Shelke M. V. and Jha N., 2017, Carbon fabric based solar steam generation for waste water treatment, Solar Energy, vol. 159, pp 800-810.
[4] Neumann, O., Feronti, A., Neumann, D., Dong, A., Schell, K., Lu, B., Kim, E., Quinn, M., Lance, S., Grady, N., Nordlander, P., Oden, M. and Halas N., 2013, Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 110(29), pp 11677-11681.
[5] Akbari, Z., Ghafurian, M. M., Niazmand, H. and Bakhsh Zahmatkesh, B., 2018, Performance evaluation of multi-wall carbon nanotube in hot water production, 26th Annual International Conference of Iranian Society of Mechanical Engineers, Semnan, University of Semnan.
[6] Ghafurian M. M., Niazmand H. and Ebrahimnia bajestan E., 2018, Performance evaluation of multi-wall carbon nanotube in solar fresh water production, Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, vol.50.
[7] Ghafurian M. M., Niazmand H., Ebrahimnia bajestan E. and Elhami Nik H., 2019, Localized solar heating via graphene oxide nanofluid for direct steam generation, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol. 135(2), pp 1443-1449.
[8] Bakhsh Zahmatkesh B., Ghafurian M. M. and Niazmand H., 2018, Using dispersed Fe2O3 nanoparticles in seawater on solar steam generation, The 6th annual clean energy conference, Shiraz, University of Shiraz.
[9] Li, T., Liu, H., Zhao, X., Chen, G., Dai, J., Pastel, G., Jia, C., Chen, C., Hitz, E., Siddhartha, D. and Yang, R., 2018. Scalable and highly efficient mesoporous wood-based solar steam generation device: localized heat, rapid water transport. Advanced Functional Materials, vol. 28(16), pp.1707134.
[10] Ghasemi H., Ni G., Marconnet A. M., Loomis J., Yerci S., Milijkovic N. & Chen G., 2014, Solar steam generation by heat localization, Nature Communications, vol. 5.
[11] Ghafurian, M.M., Afsharian, A., Rahimpour Esfahani, F. and Niazmand, H., 2018, Steam generation via localizing solar energy absorption on water surface, The 6th annual clean energy conference, Shiraz, University of Shiraz.
[12] Xue G., Liu K., Chen Q., Yang P., Li J., Ding T., Duan J., Qi B. and Zhou J., 2017, Robust and Low-Cost Flame-Treated Wood for High-Performance Solar Steam Generation, ACS Applied Materials & interfaces, vol. 9(17), pp 15052-15057.
[13] Zhu M., Li Y., Chen F., Zhu X., Dai J., Li Y., Yang Z., Yan X., Song J., Wang Y., Hitz E., Luo W., Lu M., Yang B. and Hu L., 2017, Plasmonic Wood for High-Effciency Solar Steam Generation, Advanced Energy Materials, vol. 8(4).
[14] Liu K. K., Jiang Q., Tadepalli S., Raliya R., Biswas P., Naik R. R. and Singamaneni S., 2017, Wood−Graphene Oxide Composite for Highly Efficient Solar Steam Generation and Desalination, ACS Applied Materials & interfaces, vol. 9(8), pp 7675-7681.
[15] Wang G., Fu Y., Guo A., Mei T., Wang J, Li J. and Wang X., 2017, Reduced Graphene Oxide–Polyurethane Nanocomposite Foam as a Reusable Photoreceiver for Efficient Solar Steam Generation, Chemistry of Materials, vol. 29(13), pp 5629–5635.
[16] Guo, D., Yang, X., 2019, Highly efficient solar steam generation of low cost TiN/bio-carbon foam, Science China Materials, vol. 62(5), pp. 711-718.
[17] Xu, N., Hu, X., Xu, W., Li, X., Zhou, L., Zhu, S. and Zhu, J., 2017, Mushrooms as efficient solar steam-generation devices, Advanced Materials, vol. 29(28), pp.1606762.
[18] Zhu, M., Yu, J., Ma, C., Zhang, C., Wu, D. and Zhu, H., 2019, Carbonized daikon for high efficient solar steam generation, Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 191, pp.83-90.