

تولید بخار با استفاده از انرژی خورشید و محلی سازی نور در سطح چوب کاج

فاطمه توکلی دستجرد، محمد مصطفی غفوریان، مهدی مقدس خراسانی، مهران سپاه منصور، حمید نیازمند*

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۱۸

بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸

ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۲/۱۰

کلمات کلیدی:

تبخیر سطحی

بخار خورشیدی

فرایند کربنیزاسیون

بازده تبخیری، چوب

خلاصه: در پژوهش حاضر به مطالعه تجربی تولید بخار خورشیدی با استفاده از چوب درخت کاج پرداخته میشود. ویژگی های منحصر به فرد چوب نظیر تخلخل بالا، آب دوستی، سبکی و ضریب هدایت حرارتی پایین باعث شده است تا جهت محلی سازی نور در سطح آب و تولید بخار خورشیدی در این پژوهش مورد توجه قرار گیرد. برای این منظور در گام نخست به مقایسه بخار تولیدی آب و چوب درخت کاج که قادر است در سطح آب شناور باشد، پرداخته میشود. نتایج نشان میدهد استفاده از چوب معمولی به عنوان غشاء سطحی باعث بهبود فرایند تبخیر میشود به طوری که نرخ تبخیر آن ۲۶/۳ درصد در مقایسه با نرخ تبخیر آب افزایش می یابد. به منظور افزایش جذب نور و نرخ تبخیر، سطح چوب توسط یک صفحه ی داغ فلزی با دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد کربنیزه میشود. علاوه بر این ضخامت بهینه چوب و نیز اثر مدت زمان فرایند کربنیزاسیون در نرخ تبخیر مورد مطالعه قرار میگیرد. نتایج تبخیری نشان میدهد که ضخامت بهینه چوب ۱۰ میلیمتر و زمان کربنیزه ۱۵۰ ثانیه میباشد. به طوری که استفاده از چوب کربنیزه با این ویژگی نرخ تبخیر را نسبت به آب تا ۱/۸۶ برابر افزایش و بازده تبخیری ۶۴/۲ درصد را به خود اختصاص میدهد.

۱- مقدمه

دلار بر مترمکعب) را به خود اختصاص داده است. از طرفی استفاده از سوخت فسیلی و انرژی های وابسته در این سیستم ها، آلودگی های زیست محیطی و نیز محدودیت منابع را به دنبال خواهد داشت [۲]. [۳]. از این رو محققان، راهکارهای مختلفی برای افزایش راندمان واحد تولید بخار در سیستم های خورشیدی ارائه داده اند [۴، ۵]. روشی که اخیراً مورد توجه قرار گرفته است استفاده از نانوذرات جهت تولید بخار خورشیدی می باشد. در این تکنولوژی نانوذرات باعث افزایش جذب نور خورشید و محلی سازی گرما در توده سیال، افزایش دما و در نهایت تولید بخار می شوند [۶-۸]. تاکنون محققان نانوذرات مختلفی را نظیر نانوذره ی طلا [۹، ۱۰]، نانوذرات کربنی [۱۱-۱۵]، نانوذرات ترکیبی تیتانیوم اکسید/نقره [۱۶] و نانوذرات کربنی/اکسید آهن [۱۷، ۱۸] به منظور تولید بخار خورشیدی مورد مطالعه قرار

تأمین انرژی و آب، یکی از مهم ترین مسائلی است که بشر همواره با آن روبرو بوده است و محققان همواره در تلاشند تا برای مشکلات مربوط به این دو راهکارهای مناسبی ارائه دهند [۱]. استفاده از انرژی خورشید به عنوان یک منبع تجدیدپذیر و پاک شاید بهترین راه حل ممکن باشد، اما استفاده از این انرژی به ویژه در تأمین آب شیرین مورد نیاز برای جمعیت ۷/۷ میلیاردی جهان امری دشوار است. زیرا نه تنها سیستمی پربازده وجود ندارد، بلکه هزینه تولید آب شیرین با این تکنولوژی حدود ۳/۴۵-۹/۹ دلار به ازای هر متر مکعب تخمین زده می شود که نسبت به سیستم های موجود (که از آب با شوری متوسط ۴۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر و نیز سوخت های فسیلی استفاده می کنند) هزینه بالاتری (۰/۳۸-۲/۹۷

* نویسنده عهده دار مکاتبات: niazmand@um.ac.ir



ترتیب با غشاهای سنتز شده از اکسید گرافن کاهش یافته و فلز ضد زنگ^۳ مورد بررسی قرار دادند و به بازده‌های قابل توجهی دست یافتند اما نکته قابل توجه این است که فرآیند ساخت این غشاهای پیچیده بوده و قابلیت تجاری‌سازی را به دلیل هزینه‌ی تولید بالا، ندارند. از این رو اخیراً توجه محققان به استفاده از موادی با فرآیند ساخت ساده‌تر، تجدیدپذیر و نیز فراوان جلب شده است. به عنوان نمونه زو و همکاران [۲۴] از چوب کربنیزه^۴ شده توسط چراغ الکلی، به عنوان یک ماده جاذب، در تبخیر سطحی استفاده نمودند. آن‌ها با استفاده از این روش بازده تبخیری ۷۰٪^۵ را گزارش کردند. اما استفاده از این روش کربنیزاسیون به علت زمان‌بر بودن قابلیت تجاری‌سازی را نداشته و همچنین برای نمونه‌های بزرگ مناسب نمی‌باشد. غفوریان و همکاران [۳] عملکرد تبخیری عملیات‌های سطحی مختلف را بر روی چوب صنوبر با بیشترین تخلخل بررسی کردند. آن‌ها نشان دادند که با عملیات پوشش‌دهی طلا بر روی سطح چوب می‌توان نرخ تبخیر را تا ۳/۵۴ برابر آب افزایش داد. اما این عملیات نسبت به فرآیند کربنیزاسیون، اقتصادی نمی‌باشد. زو و همکاران [۲۵] با پوشش‌دادن سطح چوب با نانوذرات دارای خاصیت تشدید پلاسمون سطحی نظیر نانوذرات پالادیوم، توانستند عملکرد خوبی را (بازده ۸۵٪ در شدت ۱۰ برابر شدت خورشید) گزارش کنند، اما همچنان قیمت تمام‌شده تولید بخار قابل رقابت با دیگر روش‌ها نبود و پوشش نانوذرات منافذ سطحی چوب را مسدود می‌کرد که در عملکرد طولانی مدت آن اثر منفی داشت. از این رو در این پژوهش به ارائه روشی جدید در فرآیند کربنیزاسیون چوب پرداخته می‌شود تا علاوه بر عملکرد تبخیری مناسب، توانایی تجاری‌شدن را هم داشته باشد. چوب مورد مطالعه چوب درخت کاج می‌باشد که قابلیت رشد در همهی مناطق ایران را دارد. برای این منظور ابتدا ضخامت بهینه نمونه‌های چوب مشخص و سپس سطح آن‌ها با استفاده از یک صفحه‌ی داغ فلزی با دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان مختلف ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه کربنیزه شد تا اثر مدت زمان فرآیند کربنیزاسیون در تولید بخار خورشیدی تحت شدت تابشی ۳/۲ کیلووات بر متر مربع بررسی شود. همچنین نتایج تبخیری حاصل از چوب‌های کربنیزه با نتایج حاصل از چوب ساده و آب مقایسه خواهد شد.

داده‌اند. نتایج گزارش شده در مطالعات آنها نشان‌دهنده‌ی نقش موثر نانوذرات در تولید بخار می‌باشد به طوری که استفاده از نانوذرات طلا (با غلظت ۰/۰۴ درصد وزنی) [۹]، نانولوله‌های کربنی چند دیواره (با غلظت ۰/۰۴ درصد وزنی) [۱۵] و نانوذرات ترکیبی TiO_2/Ag (غلظت ۲۰۰ ppm) [۱۶] به ترتیب منجر به بازده تبخیری ۹۴ درصد (در شدت تابشی ۲۸۰ کیلووات بر متر مربع)، ۴۴ درصد (در شدت تابشی ۳/۵ کیلووات بر متر مربع) و ۴۵/۹ درصد (در شدت تابشی ۳ کیلووات بر متر مربع) شده‌اند. علی‌رغم افزایش نرخ تبخیر با استفاده از نانوذرات، این روش دارای معایبی نیز است که شامل عدم پایداری طولانی مدت در آب، بازدهی پایین به علت افزایش دمای توده سیال، هزینه‌ی بالای نانوذرات و اثرات زیست‌محیطی می‌باشد. از این رو اخیراً برای حل این مشکل توجه به غشاهای متخلخل^۱ که قابلیت شناوری بر روی سطح آب را دارند افزایش یافته است زیرا این غشاهای از اتلافات حرارتی جلوگیری کرده و باعث محلی‌سازی نور و در نتیجه افزایش نرخ تبخیر می‌شوند [۱۹]. در واقع این غشاهای با جذب نور و به طور همزمان انتقال آب از سطح زیرین با خاصیت مویبندی^۲، از انرژی خورشید جهت تولید بخار بهره می‌برند. به عنوان نمونه لی و همکاران [۲۰] با سنتز غشائی اصلاح شده از نانوذرات TiO_2/Ag به بررسی اثر حضور و عدم حضور غشاء، چگالی توزیع نانوذرات در سطح غشاء (۰/۱ تا ۱/۲ گرم بر متر مربع) و شدت تابش خورشیدی (۰/۲۵ تا ۱۰ کیلووات بر متر مربع) در نرخ تبخیر پرداختند. اثر چگالی توزیع نانوذرات در شدت ۵ کیلووات بر متر مربع بررسی شد و نتایج نشان داد که بهترین بازده تبخیری در چگالی توزیع ۱/۲ گرم بر متر مربع برابر ۵۲/۹ درصد می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از آزمایش‌های مربوط به شدت تابشی برای چگالی ۱ گرم بر متر مربع نشان داد که بالاترین بازده‌ها مربوط به شدت‌های ۱ و ۲۵۰ کیلووات بر مترمربع به ترتیب برابر ۶۸٪ و ۷۷٪ می‌باشد. ژو و همکاران [۲۱] نیز به بررسی عملکرد یک غشاء سه بعدی سنتز شده با استفاده از نانوذرات آلومینیوم در تولید بخار خورشیدی پرداختند. نتایج آن‌ها برای شدت‌های تابشی ۱، ۲، ۳، ۴ و ۶ کیلووات بر متر مربع ارائه شده است که در بهترین حالت بازده تبخیری ۸۸ درصد برای شدت تابشی ۶ کیلووات بر متر مربع گزارش شد. محققان دیگری همچون گو و همکاران [۲۲] و ژانگ و همکاران [۲۳] تبخیر خورشیدی را به

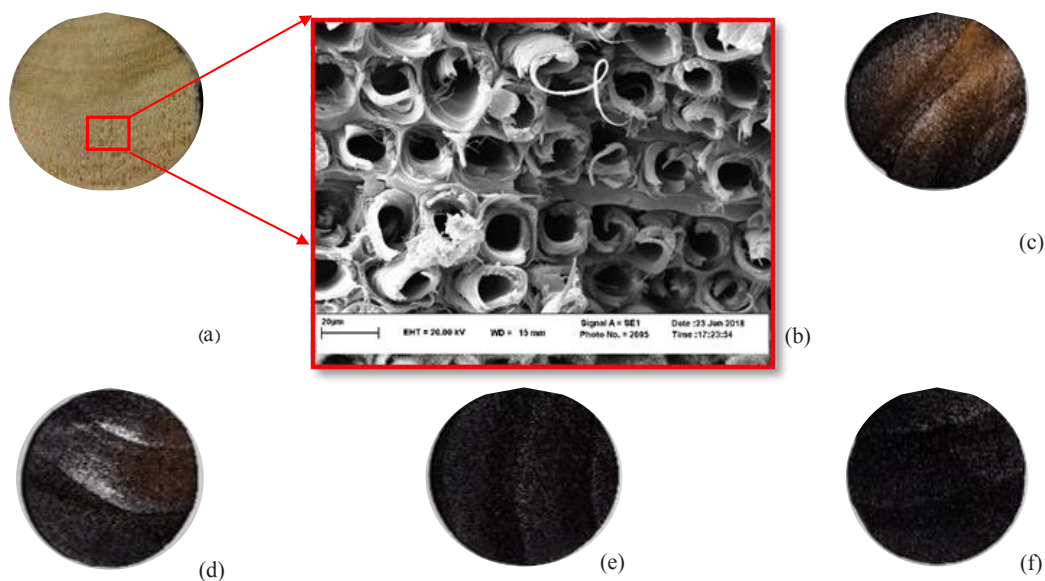
3 stainless steel

4 Carbonized

5 Evaporation efficiency

1 Porous membrane

2 Capillary



شکل ۱: (a) چوب ساده، (b) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی چوب، چوب کربنیزه شده با یک صفحه فلزی و با سطح ۴۰۰ درجه سانتیگراد در مدت (c) ۵۰ ثانیه، (d) ۱۰۰ ثانیه، (e) ۱۵۰ ثانیه و (f) ۲۰۰ ثانیه

Fig. 1. (a) A Simple wood, (b) A SEM image of wood, carbonized wood with a metal plate with temperature of 4000C during (c) 50 seconds, (d) 100 seconds, (e) 150 seconds and (f) 200 seconds

جدول ۱: نمادهای معرف نمونه‌های تست شده در پژوهش

Table 1. Representing symbols of the tested samples in the study

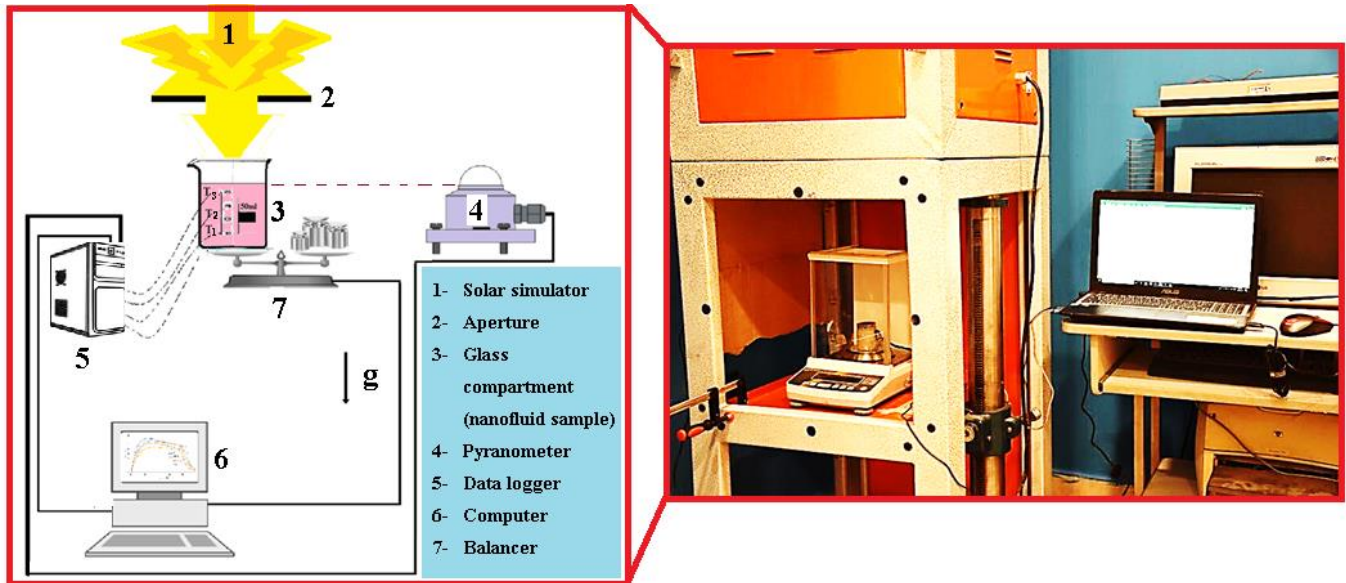
نماد	نمونه	نماد	نمونه
Wood	چوب ساده	Water	آب
HT-Wood (50s)	چوب کربنیزه شده به مدت ۵۰ ثانیه	Wood ($t=3\text{mm}$)	چوب با ضخامت ۳ میلی‌متر
HT-Wood (100s)	چوب کربنیزه شده به مدت ۱۰۰ ثانیه	Wood ($t=5\text{mm}$)	چوب با ضخامت ۵ میلی‌متر
HT-Wood (150s)	چوب کربنیزه شده به مدت ۱۵۰ ثانیه	Wood ($t=10\text{mm}$)	چوب با ضخامت ۱۰ میلی‌متر
HT-Wood (200s)	چوب کربنیزه شده به مدت ۲۰۰ ثانیه	Wood ($t=15\text{mm}$)	چوب با ضخامت ۱۵ میلی‌متر

ابتدا یک صفحه‌ی فلزی به طور پیوسته در معرض حرارت شدید شعله قرار گرفته تا دمای آن به ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد برسد. سپس چوب مورد نظر برای مدت زمان معین بر روی فلز داغ قرار می‌گیرد، تا سطح آن توسط حرارت بالای فلز کربنیزه شود. شایان توجه است که در مدت زمان کربنیزاسیون، سطح همچنان در معرض شعله خواهد بود. شکل ۱ تصویر نمونه‌ی چوب ساده به همراه تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آن و نمونه‌های کربنیزه شده در طی زمان‌های مختلف با سطح ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. در جدول ۱

۲- آماده‌سازی نمونه

در این پژوهش چوب به دلیل خواص منحصر به فردی نظیر عایق، آب دوستی، شناوری در سطح آب و تخلخل بالا، به عنوان غشائی جهت تولید بخار خورشیدی استفاده شده است. چوب درختان به دلیل وجود آوندها و کانالها با ابعاد میکرون خاصیت مویینگی داشته و قابلیت انتقال آب از ریشه به سطح برگ را دارند [۲۶]. اما متأسفانه این ماده جاذب خوبی برای نور خورشید نیست [۳]، لذا جهت افزایش جذب نور خورشید توسط چوب از فرایند کربنیزاسیون با سطح ۴۰۰ درجه سانتیگراد استفاده می‌شود. برای این منظور،

1 Scanning electron microscope (SEM)



شکل ۲: چیدمان آزمایشگاهی جهت اندازه‌گیری نرخ تبخیر و دما

Fig. 2. The experimental setup to measure evaporation rate and temperature

یگانه تجهیز ویرا) می‌باشد. در این سیستم، گیرنده‌ی خورشیدی یک بشر عایق‌شده به ارتفاع ۷۰ میلی‌متر و قطر ۳۸ میلی‌متر می‌باشد که حاوی آب دیونیزه بوده و نمونه‌های چوب برای بررسی نرخ تبخیر روی سطح آب شناور می‌شوند. لازم به ذکر است که عایق مورد استفاده الاستومریک به ضخامت ۱/۵ سانتیمتر می‌باشد که دارای ضریب هدایت حرارتی بسیار پایین (۰/۳۵ W/mK تا ۰/۳۹ W/mK) است. این در حالی است که برای چوب ضریب هدایت حرارتی تقریباً ۰/۴ W/mK می‌باشد. در هر آزمایش جرم اولیه آب داخل بشر ۶۰ گرم بوده و توسط سه عدد حسگر^۵ از نوع دی‌اس‌۱۸ بی ۲۰۶ با رزولوشن ۰/۱ درجه سانتی‌گراد که در فاصله‌های ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلی‌متری از کف بشر تعبیه شدند، دمای آن ثبت می‌شود. یک حسگر نیز جهت گزارش دمای محیط مورد استفاده قرار می‌گیرد. گیرنده‌ی خورشیدی به مدت ۴۰ دقیقه در معرض تابش نور قرار گرفته و در این مدت میزان افزایش دما در ارتفاع‌های مختلف بشر و کاهش جرم آب اندازه‌گیری می‌شود. جرم کاهش‌یافته آب (جرم تبخیرشده) بر حسب زمان، توسط کابل اتصال ترازو به کامپیوتر، ثبت شده و شدت نور نیز توسط شدت‌سنج با قراردادن آن در محل نمونه، گزارش می‌شود.

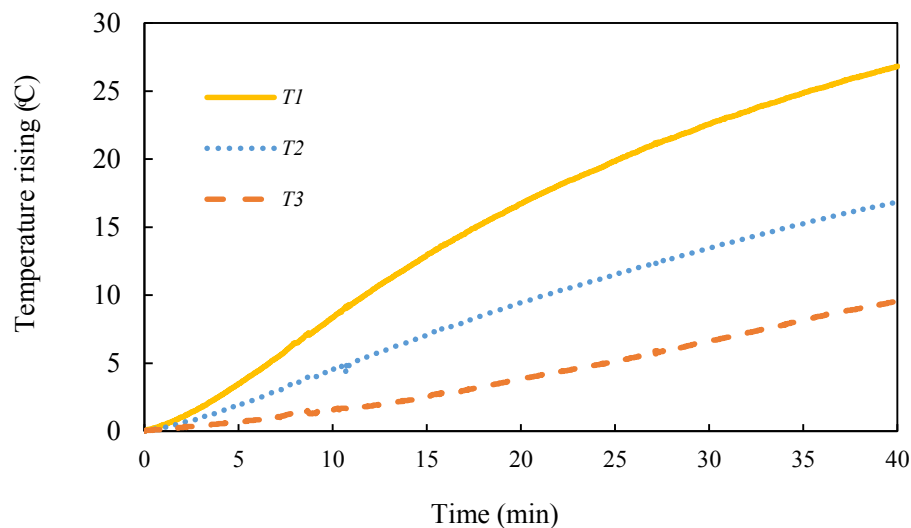
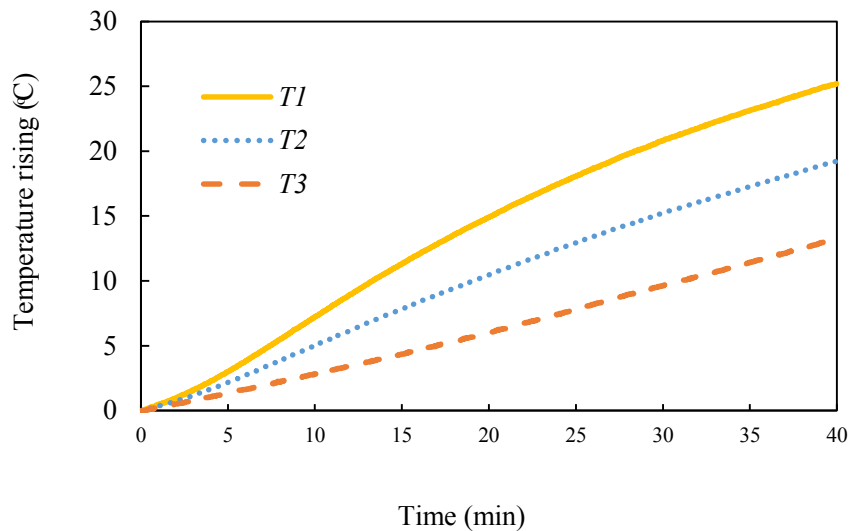
5 Sensor
6 DS18B20

نیز نمادهای معرف نمونه‌های تست‌شده در این پژوهش لیست شده است. علت انتخاب چوب کاج را می‌توان ویژگی‌های آن از نقطه نظر تخلخل (۸/۵۷ درصد)، سرعت انتقال آب (۸۲/۱ میلی گرم بر ثانیه) و نیز چگالی (۸/۵۹۶ گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیان نمود که در فایل تکمیلی مرجع [۳] رتبه سوم را بعد از چوب صنوبر و انگور دارد. همچنین فراوانی این چوب در کشور ایران بیشتر از دو چوب صنوبر و انگور است.

۳- چیدمان آزمایشگاهی و روش آزمایش

شکل ۲ شماتیک سیستم اندازه‌گیری نرخ تبخیر را نشان می‌دهد. اجزاء اصلی این سیستم شامل شبیه‌ساز خورشیدی (حاوی لامپ زنون ۱۶۰۰ وات با دمای تابش ۶۰۰۰ کلوین ساخت شرکت نانوشرق توس)، ترازو دیجیتال (ساخت شرکت کرن^۱ آلمان با دقت ۰/۰۱ گرم و حداکثر وزن ۲۰۰۰ گرم)، شدت‌سنج سی ام پی ۳^۲ (ساخت شرکت کیپ و زون^۳ با دقت 1 W/m^2 و گستره طول موجی ۲۰۰ تا ۲۸۰۰ nm) و سیستم جمع‌آوری اطلاعات^۴ (ساخت شرکت مهندسی

1 Kern Co.
2 CMP3 secondary standard pyranometer
3 Kipp & Zonen Co.
4 Data logger

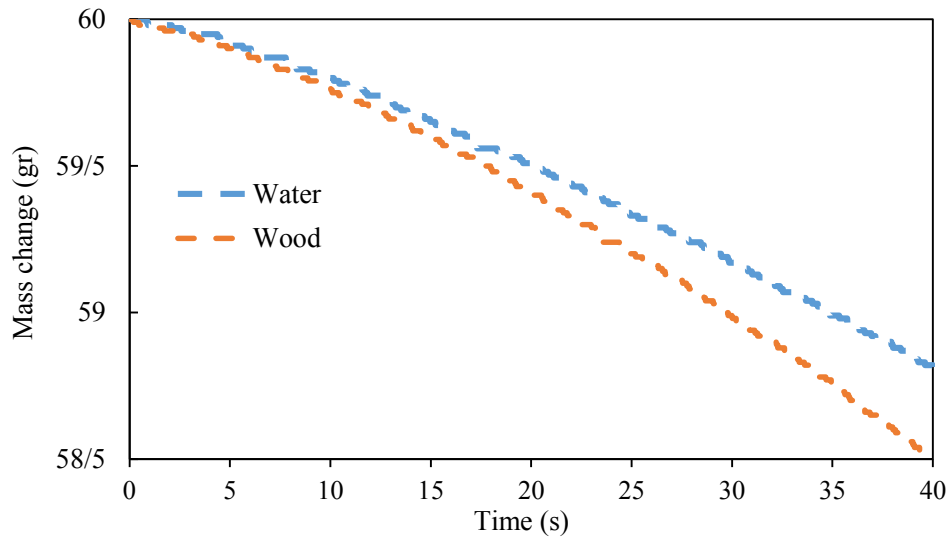


شکل ۳: افزایش دمای سیال برای نمونه (a) آب (b) چوب معمولی با ضخامت ۱۰ میلی‌متر در ارتفاعات مختلف

Fig. 3. Fluid temperature rising for (a) sample water (b) simple wood with thickness of 10 mm at different heights

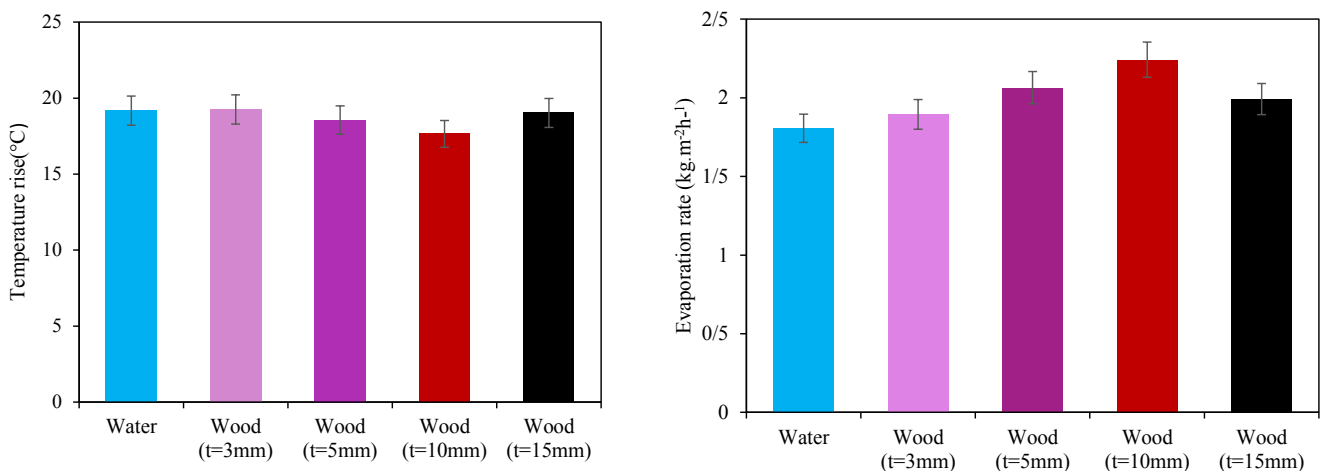
باشد. همچنین سعی بر آن شده است که دمای اولیه سیال و محیط اطراف محفظه آزمایش، در تمامی آزمایش‌ها تقریباً یکسان باشد، تا بر عملکرد تبخیری اثر یکسانی داشته باشد. برای این منظور، دمای شروع در همه‌ی آزمایش‌ها بر روی ۲۸-۳۱ درجه سانتی‌گراد تنظیم و سپس فرآیند تبخیر آغاز می‌شود. از طرفی در مدت زمان آزمایش رطوبت نسبی محیط ۱۹ درصد و فشار هوا ۰/۹ بار اندازه‌گیری شد که در حین فرآیند تبخیر، تغییر محسوسی برای این دو پارامتر (زیر ۱۰ درصد) در محفظه ثبت نشد. لازم به ذکر است که تمامی آزمایش‌ها

با توجه به اینکه عوامل مختلفی نظیر دمای محیط، رطوبت محیط و تغییرات شدت بر نرخ تبخیر اثرگذار هستند، برای کنترل دقیق عملکرد تبخیری نمونه‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها، از شبیه‌ساز خورشیدی استفاده شد. زیرا اگر بررسی‌ها تحت شدت روزانه انجام می‌گرفت، تغییرات شرایط جوی و محیطی، کنترل پارامترهای موثر را دشوار می‌کرد و امکان مقایسه درست را کاهش می‌داد. از این رو محفظه‌ی آزمایش توسط یک باکس از محیط ایزوله شد، که علاوه بر محفوظ ماندن از انعکاس پرتوهای نور، شرایط محیطی بر آن کمترین اثر را داشته



شکل ۴: تغییرات جرم سیال با زمان برای آب و چوب معمولی با ضخامت ۱۰ میلیمتر

Fig. 4. Time variations of fluid mass for water and simple wood with a thickness of 10 mm



شکل ۵: (a) افزایش دمای توده سیال و (b) نرخ تبخیری چوبها با ضخامت متفاوت در مقایسه با آب معمولی

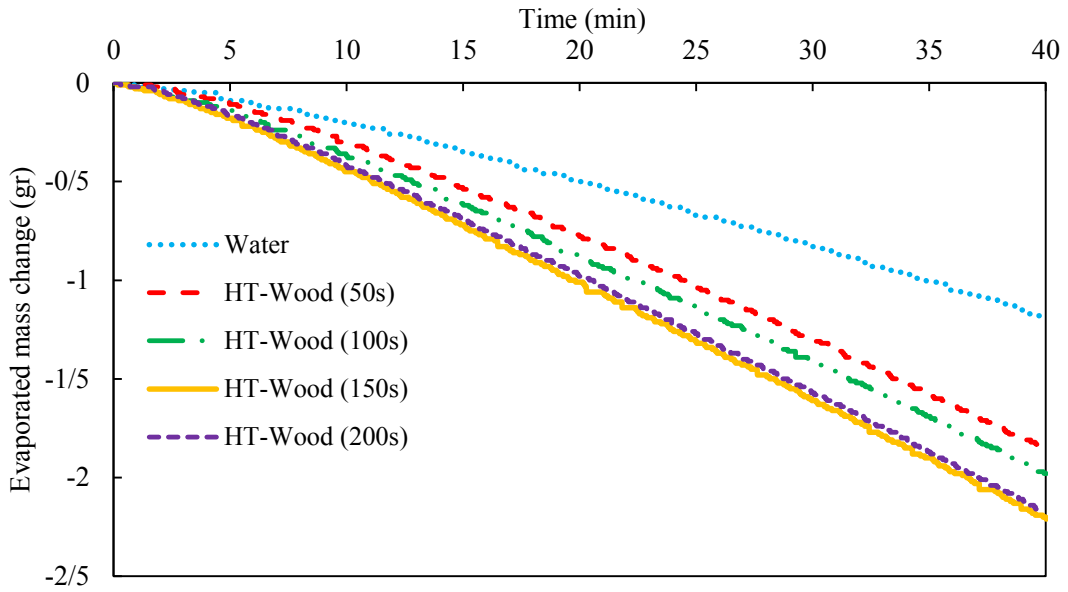
Fig. 5. (a) Rising of the fluid bulk temperature and (b) evaporation rate of wood samples with different thickness in comparison with water

۴- نتایج و بحث

۴-۱- اندازه‌گیری نرخ تبخیر آب و چوب معمولی

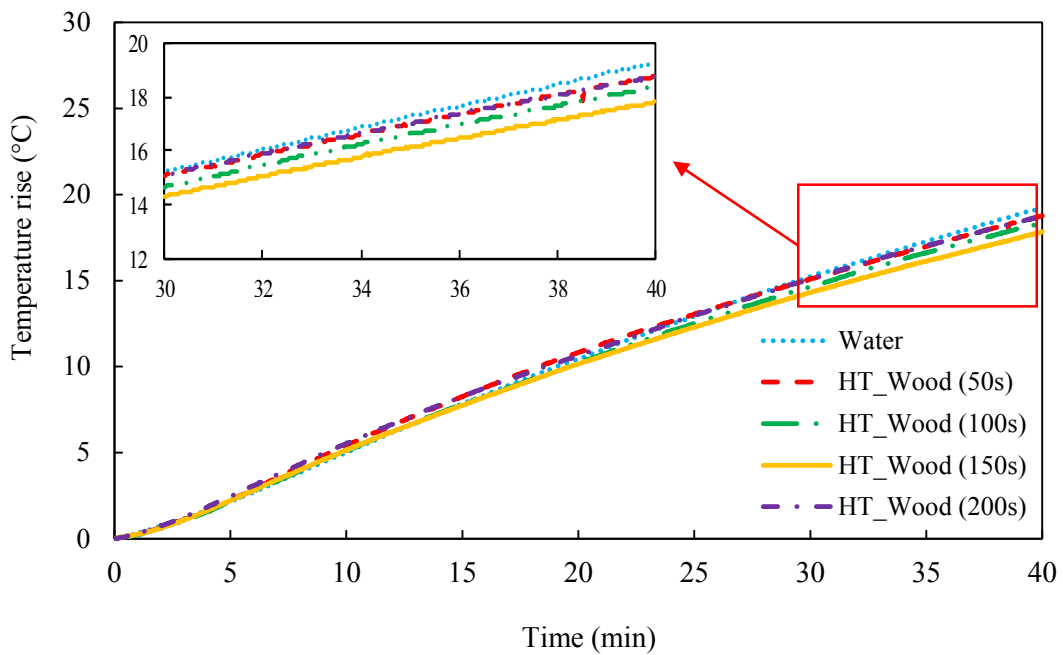
در گام نخست به ارزیابی عملکرد چوب معمولی در تولید بخار

در محل آزمایشگاه مکانیک و انرژی‌های تجدید پذیر دانشگاه فردوسی مشهد انجام شده و جهت کالیبراسیون تجهیزاتی نظیر حسگرهای دما و ترازوی دیجیتال از تجهیزات آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد استفاده شده است.



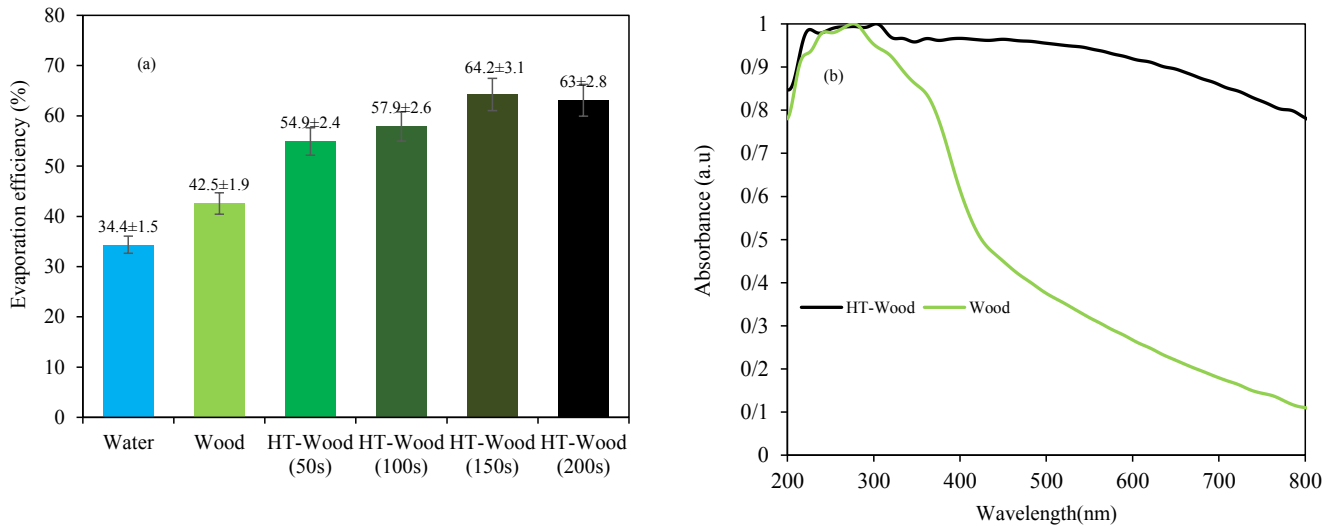
شکل ۶: جرم تبخیر شده سیال بر حسب زمان برای سطوح کربنیزه مختلف و آب در شدت تابشی ۳/۲ کیلووات بر مترمربع

Fig. 6. Time variations of evaporated fluid mass for different carbonized surfaces and water at light concentration of 3.2 kW/m²



شکل ۷: افزایش دمای توده سیال برای آب و نمونه های چوب کربنیزه در شدت ۳/۲ کیلووات بر متر مربع

Fig. 7. Rising of the fluid bulk temperature for water and carbonized wood samples at 3.2 kW/m²



شکل ۸: (a) بازده تبخیری آب، چوب معمولی و چوبهای کربنیزه‌شده در مدت زمان ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه (b) تست طیف جذبی (DRS) برای نمونه چوب معمولی و چوب کربنیزه‌شده در ضخامت بهینه

Fig. 8.(a) evaporation efficiency of water, simple wood and carbonized samples during 50, 100, 150 and 200 seconds, (b) diffuse reflection spectroscopy of simple wood and carbonized wood at optimized thickness

عنوان غشاء سطحی سبب بهبود نرخ تبخیر می‌گردد به طوریکه نرخ تبخیر با استفاده از چوب معمولی ۱/۲۶ برابر نرخ تبخیر آب است. بعد از مشخص شدن عملکرد مؤثر چوب در تولید بخار خورشیدی، لازم است که ضخامت بهینه‌ی چوب تعیین گردد. برای این منظور ۴ ضخامت ۳، ۵، ۱۰ و ۱۵ میلیمتری از چوب تهیه و عملکرد تبخیری آنها تحت تابش ۳/۲ برابر نور خورشید بررسی شد. نتایج مربوط به نرخ تبخیر و افزایش دمای توده سیال برای ضخامت‌های مختلف چوب در شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نرخ تبخیر با افزایش ضخامت تا ۱۰ میلیمتر افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد. علت این روند را می‌توان به اثر ضخامت در جلوگیری از اتلافات حرارتی به توده سیال دانست؛ زیرا منجر می‌شود که دمای توده سیال روند معکوسی نسبت به نرخ تبخیر داشته باشد. به طوریکه در ضخامت ۱۰ میلیمتر کمترین دمای توده سیال که میانگین دمای سه حسگر است، مشاهده می‌شود. پس می‌توان ضخامت بهینه را ۱۰ میلیمتر در نظر گرفت زیرا نه تنها بیشترین جرم تبخیر را داشته بلکه کمترین افزایش دما سیال را به خود اختصاص داده است.

۲-۴- بررسی عملکرد تبخیری چوب با فرآیند کربنیزاسیون

در این بخش به منظور افزایش نرخ تبخیر توسط چوب از فرایند

خورشیدی پرداخته شد و نتایج حاصل از آن با تولید بخار خورشیدی آب مقایسه گردید. برای این منظور دایره‌ای از چوب کاج با قطر ۳۶ میلیمتر و ضخامت ۱۰ میلیمتر به کمک دستگاه لیزر آماده شد. سپس نمونه بر روی سطح آب داخل بشر شناور گشت و به مدت ۴۰ دقیقه تحت تابش نور شبیه‌ساز خورشیدی با شدت ۳/۲ کیلووات بر متر مربع قرار گرفت. شکل ۳-a و ۳-b تغییرات دمای توده سیال را در ارتفاعات مختلف بشر نشان می‌دهد. T_1 دمای بالاترین حسگر را نشان می‌دهد که مطابق با نمودارهای ۳-a و ۳-b برای چوب معمولی افزایش دمای بیشتری را نسبت به آب گزارش می‌کند. در حالیکه دو حسگر دیگر که در ارتفاع پایین‌تر قرار دارند، برای آب افزایش دمای بیشتری را نشان می‌دهند. می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از روش سطحی، انرژی جذب شده به صورت گرما در سطح محلی‌سازی شده و از اتلافات حرارتی ناشی از افزایش دمای توده سیال جلوگیری می‌شود. به طوریکه متوسط دمای توده سیال در مدت زمان تست برای آب (۱۹ / ۱۸) درجه سانتی‌گراد) ۱/۶۲ درجه بالاتر از این دما برای چوب معمولی (۱۷ / ۵۶) درجه‌ی سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شده است. نتایج مربوط به تغییرات جرم آب در طول فرآیند تبخیر برای دو حالت فوق در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از چوب به

چگالی شدت نور (کیلووات بر مترمربع) و A سطح تبخیر (مترمربع) است. مطابق شکل ۸-a چوب کربنیزه شده در مدت زمان ۱۵۰ ثانیه بیشترین بازده تبخیری را به خود اختصاص داده است به طوریکه در شدت تابشی $3/2$ کیووات بر متر مربع دارای بازده تبخیری $64/2 \pm 3/1$ درصد می باشد که به ترتیب ۲ و $1/5$ برابر بازده تبخیری آب و چوب معمولی است. شایان توجه است که مقدار عدم قطعیت ذکر شده در اینجا بر اساس سه بار تکرار آزمایش ها می باشد. پس از آن بیشترین بازده های تبخیری به ترتیب مربوط به چوب کربنیزه در مدت زمان های ۲۰۰ ثانیه (۶۳ درصد)، ۱۰۰ ثانیه (۵۷/۹ درصد) و ۵۰ ثانیه (۵۴/۹ درصد) می باشد. دلیل این امر را می توان به جذب نور نسبت داد. زیرا همانطور که نتایج تست طیف جذبی ارائه شده در شکل ۸-b برای نمونه چوب معمولی و چوب کربنیزه نشان می دهد، کربنیزه کردن باعث افزایش جذب نور به ویژه در ناحیه مرئی می شود.

۵- نتیجه گیری

در مقاله حاضر، عملکرد چوب به عنوان یک غشاء سطحی در تولید بخار خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور بلوک های دایره ای از چوب درخت کاج با قطر ۳۲ میلی متر و ضخامت های مختلف به کمک دستگاه لیزر آماده شد. ابتدا چوب معمولی در ضخامت های مختلف روی سطح آب شناور شد و نرخ تبخیر آن در شدت تابشی $3/2$ کیلووات بر متر مربع توسط مجموعه آزمایشگاهی اندازه گیری و ضخامت بهینه تعیین شد. سپس به منظور افزایش جذب نور توسط چوب از فرایند کربنیزاسیون با سطح 400 درجه سانتی گراد استفاده شد و نیز اثر مدت زمان فرایند کربنیزاسیون (۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه) بر عملکرد تبخیری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از چوب معمولی در بهترین حالت با ضخامت ۱۰ میلی متر نرخ تبخیر را $1/26$ برابر نرخ تبخیر آب افزایش می دهد. همچنین نتایج نشان داد که فرایند کربنیزاسیون نرخ تبخیر و بازده تبخیری را نسبت به چوب معمولی بهبود می بخشد. به طوریکه بازده تبخیری چوب های کربنیزه در مدت زمان ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه به ترتیب $1/63$ ، $1/68$ ، $1/87$ و $1/83$ برابر بازده تبخیری آب بدست می آید.

کربنیزاسیون استفاده می شود. نتایج برای ضخامت ۱۰ میلی متر با مدت زمان کربنیزاسیون ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه توسط سطح داغ 400 درجه سانتی گراد گزارش می شود. شکل ۶ جرم تبخیری برای سطوح کربنیزه مختلف را در مقایسه با آب نشان می دهد. همانطور که از شکل ۶ پیداست، فرایند کربنیزاسیون نرخ تبخیر را به میزان چشمگیری نسبت به آب معمولی افزایش می دهد به طوریکه نرخ تبخیر برای چوب های کربنیزه در مدت زمان ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه به ترتیب $1/56$ ، $1/66$ ، $1/87$ و $1/82$ برابر نرخ تبخیر آب می باشد. همانطور که مشخص است با افزایش مدت زمان فرایند کربنیزاسیون به بیش از ۱۵۰ ثانیه نرخ تبخیری تغییر چندانی نمی کند. بنابراین می توان نتیجه گرفت مدت زمان بهینه فرایند کربنیزاسیون برای این نوع چوب ۱۵۰ ثانیه می باشد. شکل ۷ نیز افزایش دمای توده سیال (میانگین دمای سه حسگر) را برای آب و چهار نمونه تست شده در مدت زمان آزمایش نشان می دهد. همانطور که از شکل ۷ پیداست استفاده از چوب کربنیزه با مدت زمان کربنیزاسیون ۱۵۰ ثانیه کمترین افزایش دمای توده سیال را گزارش می دهد. در حقیقت با افزایش زمان کربنیزاسیون، عمق کربنیزه شدن در چوب افزایش می یابد. این موضوع شاید در فرایند جذب نور مفید باشد، ولی با افزایش بیش از حد منجر به بالارفتن دمای نمونه و حتی دمای توده سیال در مدت زمان تست می شود. بنابراین زمان کربنیزاسیون ۱۵۰ ثانیه، به این علت بهترین عملکرد را دارد که قادر است با محلی سازی بیشتر گرما منجر به افزایش نرخ تبخیری شده و کمترین انتقال حرارت به توده سیال (اتلافات حرارت) را داشته باشد.

۴-۳- بازده تبخیری

به منظور مقایسه بهتر اثر نمونه های تست شده در تبخیر خورشیدی، بازده تبخیری نمونه های آزمایش شده در شکل ۸ ارائه شده است. بازده تبخیری مطابق رابطه (۱) تعریف می شود.

$$\eta_{evaporation} = \frac{\dot{m} h_{fg}}{IA} \quad (1)$$

که \dot{m} نرخ تبخیر (کیلوگرم بر مترمربع ساعت)، h_{fg} آنتالپی تغییر فاز آب (2257 kJ.kg) در فشار ۱ اتمسفر برای آب خالص) و I

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی مشهد جهت تهیه عکس میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ نمونه‌ی چوب و همچنین شرکت دی‌سپترونیک به منظور تهیه‌ی طیف بازتاب نفوذی^۲ نمونه‌های چوب تشکر نمایند.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

A مساحت، m^2

h آنتالپی تغییر فاز، kJ/kg

I چگالی شدت نور، kw/m^2

m نرخ تبخیر، kg/m^2

علائم یونانی

η بازده، %

کلمات مخفف

HT_Wood چوب کربنیزه شده با سطح 400° درجه سانتیگراد

Wood چوب معمولی

مراجع

- still under the desert climatic conditions, Energy Conversion and Management, 171 (2018) 1749-1760.
- [5] K. Rabhi, R. Nciri, F. Nasri, C. Ali, H.B. Bacha, Experimental performance analysis of a modified single-basin single-slope solar still with pin fins absorber and condenser, Desalination, 416 (2017) 86-93.
- [6] M. Ghafurian, H. Niazmand, E. Ebrahimnia-Bajestan, Performance Evaluation of Multi-Wall Carbon Nanotube in Solar Fresh Water Production, Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, (2018) (In Persian).
- [7] G. Ni, N. Miljkovic, H. Ghasemi, X. Huang, S.V. Boriskina, C.-T. Lin, J. Wang, Y. Xu, M.M. Rahman, T. Zhang, Volumetric solar heating of nanofluids for direct vapor generation, Nano Energy, 17 (2015) 290-301.
- [8] H. Jin, G. Lin, L. Bai, A. Zeiny, D. Wen, Steam generation in a nanoparticle-based solar receiver, Nano Energy, 28 (2016) 397-406.
- [9] M. Amjad, G. Raza, Y. Xin, S. Pervaiz, J. Xu, X. Du, D. Wen, Volumetric solar heating and steam generation via gold nanofluids, Applied Energy, 206 (2017) 393-400.
- [10] H. Jin, G. Lin, L. Bai, M. Amjad, E.P. Bandarra Filho, D. Wen, Photothermal conversion efficiency of nanofluids: An experimental and numerical study, Solar Energy, 139 (2016) 278-289.
- [11] M.M. Ghafurian, H. Niazmand, E. Ebrahimnia-Bajestan, H.E. Nik, Localized solar heating via graphene oxide nanofluid for direct steam generation, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 135 (2019) 1443-1449.
- [12] X. Liu, J. Huang, X. Wang, G. Cheng, Y. He, Investigation of graphene nanofluid for high efficient solar steam generation, Energy Procedia, 142 (2017) 350-355.
- [13] M.M. Ghafurian, H. Niazmand, E. Ebrahimnia-Bajestan, Improving steam generation and distilled
- [1] M.M. Ghafurian, H. Niazmand, New approach for estimating the cooling capacity of the absorption and compression chillers in a trigeneration system, International Journal of Refrigeration, 86 (2018) 89-106.
- [2] m. vafaie, m. Barzgarnezhad, A. Arbabi, e. shakib, M.M. Ghafurian, Experimental Study and Economic Evaluation of a Cascade Solar Water Desalination Unit in Various Conditions, Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, 52(6) (2018) 1513-1530 (In Persian).
- [3] M.M. Ghafurian, H. Niazmand, E. Ebrahimnia-Bajestan, R.A. Taylor, Wood surface treatment techniques for enhanced solar steam generation, Renewable Energy, 146 (2020) 2308-2315.
- [4] Z. Saadi, A. Rahmani, S. Lachtar, H. Soualmi, Performance evaluation of a new stepped solar

1 Scanning Electron Microscope (SEM)

2 Diffuse Reflection Spectroscopy (DRS)

- thin-film membrane with broadband Ag@ TiO₂ nanoparticle for high-efficiency solar evaporation enhancement, *Energy*, 139 (2017) 210-219.
- [21] L. Zhou, Y. Tan, J. Wang, W. Xu, Y. Yuan, W. Cai, S. Zhu, J. Zhu, 3D self-assembly of aluminium nanoparticles for plasmon-enhanced solar desalination, *Nature Photonics*, 10 (2016) 393.
- [22] A. Guo, X. Ming, Y. Fu, G. Wang, X. Wang, Fiber-based, double-sided, reduced graphene oxide films for efficient solar vapor generation, *ACS applied materials & interfaces*, 9 (2017) 29958-29964.
- [23] L. Zhang, B. Tang, J. Wu, R. Li, P. Wang, Hydrophobic light-to-heat conversion membranes with self-healing ability for interfacial solar heating, *Advanced Materials*, 27 (2015) 4889-4894.
- [24] G. Xue, K. Liu, Q. Chen, P. Yang, J. Li, T. Ding, J. Duan, B. Qi, J. Zhou, Robust and low-cost flame-treated wood for high-performance solar steam generation, *ACS applied materials & interfaces*, 9(2017) 15052-15057.
- [25] M. Zhu, Y. Li, F. Chen, X. Zhu, J. Dai, Y. Li, Z. Yang, X. Yan, J. Song, Y. Wang, Plasmonic wood for high-efficiency solar steam generation, *Advanced Energy Materials*, 8 (2018) 1701028.
- [26] F. Chen, A.S. Gong, M. Zhu, G. Chen, S.D. Lacey, F. Jiang, Y. Li, Y. Wang, J. Dai, Y. Yao, Mesoporous, three-dimensional wood membrane decorated with nanoparticles for highly efficient water treatment, *Acs Nano*, 11 (2017) 4275-4282.
- water production by volumetric solar heating, *Applied Thermal Engineering*, 158(2019) 113808.
- [14] X. Liu, X. Wang, J. Huang, G. Cheng, Y. He, Volumetric solar steam generation enhanced by reduced graphene oxide nanofluid, *Applied Energy*, 220 (2018) 302-312.
- [15] M.M. Ghafurian, H. Niazmand, F.T. Dastjerd, O. Mahian, A study on the potential of carbon-based nanomaterials for enhancement of evaporation and water production, *Chemical Engineering Science*, 207 (2019) 79-90.
- [16] H. Li, Y. He, Z. Liu, Y. Huang, B. Jiang, Synchronous steam generation and heat collection in a broadband Ag @TiO₂ core-shell nanoparticle-based receiver, *Applied Thermal Engineering*, 121 (2017) 617-627.
- [17] L. Shi, Y. He, Y. Huang, B. Jiang, Recyclable Fe₃O₄@ CNT nanoparticles for high-efficiency solar vapor generation, *Energy Conversion and Management*, 149 (2017) 401-408.
- [18] M.M. Ghafurian, H. Niazmand, Z. Akbari, B. Bakhsh Zahmatkesh, Performance evaluation of Ferric oxide (Fe₃O₄) and Graphene nanoplatelet (GNP) nanoparticles in solar steam generation, *Journal of Solid and Fluid Mechanics*, 9(2) (2019) 181-196 (In Persian).
- [19] H. Ghasemi, G. Ni, A.M. Marconnet, J. Loomis, S. Yerci, N. Miljkovic, G. Chen, Solar steam generation by heat localization, *Nature communications*, 5 (2014) 4449.
- [20] H. Li, Y. He, Z. Liu, B. Jiang, Y. Huang, A flexible

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

F. Tavakoli-Dastjerd, M. M. Ghafurian, M. Moghaddas-Khorasani, M. Sepah-Mansoor, H. Niazmand. Steam generation via solar energy and localizing the light on the pinewood surface. *Amirkabir J. Mech Eng.*, 53(special issue 3) (2021). 2001-2012.

DOI: [10.22060/mej.2020.17026.6498](https://doi.org/10.22060/mej.2020.17026.6498)



