

Amirkabir Journal of Mechanical Engineering

Amirkabir J. Mech. Eng., 53(special issue 3) (2021) 477-480 DOI: 10.22060/mej.2020.17026.6498



Steam generation via solar energy and localizing the light on the pinewood surface

F. Tavakoli-Dastjerd, M. M. Ghafurian, M. Moghaddas-Khorasani, M. Sepah-Mansoor, H. Niazmand*

Mechanical Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

ABSTRACT: In the present paper, an experimental study using pinewood in a solar steam generation

is carried out. The unique properties of wood such as high porosity, hydrophilicity, lightness, and low

thermal conductivity have led to consider for localizing light on the water surface and generating steam

in this paper. At the first step, steam generated by water and the pinewood which can float on the water

surface was compared. The results showed that the wood as a surface membrane can improve the evaporated mass so that its evaporation rate increased to 26.3% of water. To enhance the light absorption via wood and evaporation rate, wood's surface was carbonized with a metal plate at a temperature

400°C. In addition, the optimum thickness and the effect of the duration of the carbonization process

were tested. According to the results, the optimum thickness of carbonized wood and carbonized time

were 10 mm and 150 s respectively. However, using carbonated wood enhanced the evaporation rate

about 1.86 times larger than water and allocated evaporation efficiency of 64.2 % to itself.

Review History:

Received:Sep. 09, 2019 Revised:Jan. 18, 2020 Accepted:Mar. 10, 2020 Available Online: Apr. 29, 2020

Keywords:

Surface evaporation Solar steam Carbonization process Evaporation efficiency Wood

1-Introduction

Energy and water supply are among the most important issues that human beings have always faced, and researchers try to provide appropriate solutions to the problems related to these issues [1]. It is difficult to use this energy, especially in providing fresh water for the world's 7.7 billion people. On the other hand, the use of fossil fuels and related energy in these systems will lead to environmental pollution as well as limited resources [2, 3]. Therefore, researchers have proposed various strategies to increase the efficiency of the vapor production unit in solar systems [4, 5]. A recently considered method is the use of nanoparticles to produce solar vapor. In this technology, nanoparticles increase the absorption of sunlight and localize heat in the fluid mass, increase the temperature, and eventually produce vapor [6-8].

In this study, the effects of carbonized wood, as a new method, for solar steam generation and its commercialization have been examined. The studied wood is pinewood, which can grow in all regions of Iran. So, first, the optimal thickness of the wood samples was determined and then their surface was carbonized using a hot metal plate with a temperature of 400 °C for different periods of 50, 100, 150, and 200 seconds to investigate the carbonization process duration in the solar steam generation under radiation intensity of 3.2 kW/m². Also, the evaporation results of carbonized wood will be compared with the results of plain wood and water.

2- Methodology

In this study, wood was used as a membrane to produce solar steam due to its unique properties such as insulation, waterproofing, floating on the water surface, and high porosity. Unfortunately, this material is not a good absorber of sunlight [3], so to increase the absorption of sunlight by wood, a carbonization process at a temperature of 400 °C is employed. For this purpose, a metal plate was first continuously exposed to intense flame heat until its temperature reaches 400 °C. Then, the sample was placed on the hot metal for a certain period until its surface was carbonized by the high heat of the metal. The reasons that convince us to choose pinewood were a porosity of 57.8%, a water transfer rate of 1.82 mg/s, and a density of 59.86 g/cm³. It is noted that after poplar and grape wood, pinewood is the abundant wood in Iran.

2.1. Experimental System

An insulated beaker contains deionized water and wood samples were floated on the water surface to check the evaporation rate. Furthermore, the thermal conductivity coefficient for it was measured approximately 0.4 W/mK. In each experiment, the initial mass of water inside the beaker was 60 grams and was measured by three sensors which were located at a distance of 10, 30, and 50 mm from the beaker bottom. Another sensor was also used to report the ambient temperature. The solar receiver was exposed to light

*Corresponding author's email: : niazmand@um.ac.ir



Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to Amirkabir University Press. The content of this article is subject to the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY-NC 4.0) License. For more information, please visit https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.



Fig. 1. Time variations of fluid evaporated mass for different carbonized surfaces and water at a light concentration of 3.2 kW/m2

for 40 minutes and during this period, the temperature rising in the different mentioned heights from the beaker bottom was measured. Reduced water mass (evaporated mass) was recorded over time and the light intensity was reported by putting the sensor in the sample place.

A solar simulator was used to accurately control the evaporation performance of the samples and compare them. To provide an equal condition for all experiments and evaluate the evaporation performance, attempts were made to ensure that the fluid initial temperature and the environment temperature around the test chamber were nearly the same in all experiments. Moreover, during the experimental period, the ambient relative humidity was 19% and the air pressure was 0.9 bar, but during the evaporation process, no significant change for these two parameters (below 10%) was recorded in the chamber. It should be noted that all experiments were performed at the Mechanics and Renewable Energy Laboratory of the Ferdowsi University of Mashhad, and the equipment of the Central Laboratory of the Ferdowsi University of Mashhad was employed to calibrate equipment such as temperature sensors and digital scales.

3- Results and Discussion

The performance of ordinary wood in the generation of solar steam was evaluated and the results were compared with the generation of solar water vapor. In order to increase the evaporation rate by wood, the carbonization process was used. Results for the cases with a thickness of 10 mm with a carbonization time of 50, 100, 150, and 200 seconds were reported by a hot surface at 400 °C. Fig. 1 shows the evaporation mass for different carbonized surfaces compared to water. The carbonization process significantly increases the evaporation rate compared to ordinary water, so that the evaporation rate for carbonized wood in 50, 100, 150, and

200 seconds, is 1.56, 1.66, 1.87, and 1.82 times the water evaporation rate, respectively. As observed, the evaporation rate does not change much as the carbonization process takes more than 150 seconds. Therefore, it can be concluded that the optimal duration of the carbonization process for this type of wood is 150 seconds.

According to Fig. 2, carbonized wood has the highest evaporation efficiency in 150 seconds, so that in radiation intensity of 3.2 kW/m^2 , the evaporation efficiency is 64.2 ± 3.1 , which is 2 and 1.5 times the evaporation efficiency of water and ordinary wood, respectively. After that, the highest evaporation efficiency is respectively related to carbonized wood with periods of 200 seconds (63%), 100 seconds (57.9%), and 50 seconds (54.9%). The reason for this issue can be attributed to light absorption. Because, based on the Diffuse Reflection Spectroscopy (DRS) report for the ordinary wood and carbonized wood, the carbonization process increases the absorption of light, especially in the visible spectrum region.

4- Conclusions

In the present paper, the performance of wood as a surface membrane in the generation of solar steam was examined. Next, circular blocks of pinewood with a diameter of 32 mm and different thicknesses were prepared using a laser system. Ordinary wood was first floated on the water surface with different thicknesses, and its evaporation rate was measured at a radiation intensity of 3.2 kW/m^2 and the optimal thickness was determined. Then, to increase the light absorption by wood, the carbonization process with a temperature of 400 °C was employed and the effect of the carbonization process duration (50, 100, 150, and 200 seconds) on the evaporation performance was studied. The results indicated that using ordinary wood with a thickness



Fig. 2. (a) Evaporation efficiency of water, simple wood, and carbonized samples during 50, 100, 150, and 200 seconds

of 10 mm increases the evaporation rate maximally by 1.26 times the water evaporation rate. The results also illustrated that the carbonization process improved the evaporation rate as well as evaporation efficiency compared to ordinary wood. So that the evaporation efficiency of carbonized wood in the periods of 50, 100, 150, and 200 seconds is 1.63, 1.68, 1.87, and 1.83 times the water evaporation efficiency, respectively.

References

- [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. Vafaei, M. BarzgarNezhad, S.E. Shakib, M. Ghafurian, Experimental study and economic evaluation of a cascade solar water desalination unit in various conditions, Amirkabir (Journal of Science and Technology), (2018). (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 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 singlebasin single-slope solar still with pin fins absorber and condenser, Desalination, 416 (2017) 86-93.
- [6] M. Ghafurian, H. Niazmand, Ebrahimnia bejestan E, Performance evaluation of multi-wall carbon nanotube in solar fresh water production. Articles in Press, Amirkabir Journal of Mechanical Engineering, Accepted Manuscript, Available Online from, 12 (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.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

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) 477-480.

DOI: 10.22060/mej.2020.17026.6498



This page intentionally left blank

نشریه مهندسی مکانیک امیر کبیر

نشریه مهندسی مکانیک امیرکبیر، دوره ۵۳ شماره ویژه ۳، سال ۱۴۰۰، صفحات ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۲ DOI: 10.22060/mej.2020.17026.6498

تولید بخار با استفاده از انرژی خورشید و محلیسازی 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

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 و ان با ۲۶/۳ زمان کربنیزاسیون در نرخ تبخیر مورد مطالعه قرار میگیرد. نتایج تبخیری نشان میدهد که ضخامت بهینه چوب و است به آب تا ۱۸۶ زمان کربنیزاسیون در از تبخیر مارد مطالعه قرار میگیرد. نتایج تبخیری نشان میدهد که ضخامت بهینه چوب و است زمان فرایند زمان کربنیزاسیون در نرخ تبخیر مورد مطالعه قرار میگیرد. نتایج تبخیری نشان میدهد که ضخامت بهینه چوب از سبت به آب تا ۱۸۶ زمان کربنیزه ۱۵۰ ثانیه میباشد. به طوری که استفاده از چوب کربنیزه با این ویژگی نرخ تبخیر را نسبت به آب تا ۱۸۶

۱– مقدمه

تامین انرژی و آب، یکی از مهمترین مسائلی است که بشر همواره با آن روبهرو 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 راهحل ممکن باشد، اما استفاده از این انرژی به ویژه شاید بهترین راهحل ممکن باشد، اما استفاده از این انرژی به ویژه امری دشوار است. زیرا نه تنها سیستمی پربازده وجود ندارد، بلکه هزینه تولید آب شیرین با این تکنولوژی حدود ۲/۴۵–۹/۹ دلار به ازای هر متر مکعب تخمین زده میشود که نسبت به سیستمهای موجود (که از آب با شوری متوسط ۲۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر و نیز سوختهای فسیلی استفاده میکنند) هزینه بالاتری (۲/۵–۲/۹۷

* نویسنده عهدهدار مکاتبات: niazmand@um.ac.ir

تاريخچه داوري: 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

دلار بر مترمکعب) را به خود اختصاص داده است. از طرفی استفاده

از سوخت فسیلی و انرژیهای وابسته در این سیستمها، آلودگیهای

زیستمحیطی و نیز محدودیت منابع را به دنبال خواهد داشت [۲,

۳]. از این رو محققان، راهکارهای مختلفی برای افزایش راندمان واحد

تولید بخار در سیستمهای خورشیدی ارائه دادهاند [۴, ۵]. روشی که

اخیرا مورد توجه قرار گرفته است استفاده از نانوذارت جهت تولید

بخار خورشیدی میباشد. 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 تركيبي تيتانيوم اكسيد/نقره [١۶] و نانوذرات كربني/اكسيد

آهن [۱۸, ۱۸] به منظور تولید بخار خورشیدی مورد مطالعه قرار

¹ Nano particles

کی کی حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) که بو ا

ترتیب با غشاءهای سنتزشده از اکسید گرافن کاهش یافته و فلز ضد زنگ مورد بررسی قرار دادند و به بازدههای قابل توجهی دست یافتند اما نكته قابل توجه اين است كه فرآيند ساخت اين غشاءها پيچيده بوده و قابلیت تجاریسازی را به دلیل هزینهی تولید بالا، ندارند. از این رو اخیرا توجه محققان به استفاده از موادی با فرایند ساخت سادهتر، تجدیدیذیر و نیز فراوان جلب شده است. به عنوان نمونه زو و همکاران [۲۴] از چوب کربنیزه [†]شده توسط چراغ الکلی، به عنوان یک ماده جاذب، در تبخیر سطحی استفاده نمودند. آنها با استفاده از این روش بازده تبخیری ۷۰ ^۵درصد را گزارش کردند. اما استفاده از این روش کربنیزاسیون به علت زمانبربودن قابلیت تجاریسازی را نداشته و همچنین برای نمونههای بزرگ مناسب نمی باشد. 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 نمی باشد. زو و همکاران [۲۵] با پوشش دادن 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 می شود 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 سانتی گراد برای مدت زمان مختلف ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه کربنیزه شد تا اثر مدت زمان فرایند 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 گزارششده در مطالعات آنها نشاندهندهی نقش موثر نانوذرات در تولید بخار می باشد به طوری که استفاده از نانوذرات طلا (با غلظت ۲/۰۴ درصد وزنی) [۹]، نانولولههای کربنی چند دیواره (با غلظت ۲۰۰۴ درصد وزنی) [۱۵] و نانوذرات ترکیبی TiO₂/Ag (غلظت ppm) (۲۰۰ علم العام المعارية المنجر به بازده تبخيري 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 كيلووات بر متر مربع) شدهاند. على رغم افزايش نرخ تبخير 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 غشاءهای متخلل که قابلیت شناوری بر روی سطح آب را دارند افزایش یافته است زیرا این غشاءها از اتلافات حرارتی جلوگیری کرده و باعث محلی سازی نور و در نتیجه افزایش نرخ تبخیر می شوند [۱۹]. در واقع این غشاءها با جذب نور و به طور همزمان انتقال آب از سطح زیرین با خاصیت مویینگی^۲، از انرژی خورشید جهت تولید بخار بهره میبرند. به عنوان نمونه لی و همکاران [۲۰] با سنتز غشائی اصلاح شده از نانوذرات TiO₂/Ag به بررسی اثر حضور و عدم حضور غشاء، چگالی توزیع نانوذرات در سطح غشاء (۱/۱ 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 ازمایشهای مربوط به شدت تابشی برای چگالی ۱ گرم بر متر مربع نشان داد که بالاترین بازدهها مربوط به شدتهای ۱ و۲۵ /۰ کیلووات بر مترمربع به ترتیب برابر ۶۸% و ۷۷% میباشد. ژو و همکاران [۲۱] نیز به بررسی عملکرد یک غشاء سه بعدی سنتزشده 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 ژانک 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 کربنیزهشده با یک صفحه فلزی و با سطح ۴۰۰ درجه سانتیگراد در مدت (c) ۵۰ ثانیه، (b) ۱۰۰ ثانیه، (e) ۱۵۰ ثانیه، (f) ۲۰۰ 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 نست شده در پژوهس			
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 (<i>t</i> =3mm)	چوب با ضخامت ۳ میلیمتر
HT-Wood (100s)	چوب کربنیزه شده به مدت ۱۰۰ ثانیه	Wood (<i>t</i> =5mm)	چوب با ضخامت ۵ میلیمتر
HT-Wood (150s)	چوب کربنیزه شده به مدت ۱۵۰ ثانیه	Wood (<i>t</i> =10mm)	چوب با ضخامت ۱۰ میلیمتر
HT-Wood (200s)	چوب کربنیزه شده به مدت ۲۰۰ ثانیه	Wood (<i>t</i> =15mm)	چوب با ضخامت ۱۵ میلیمتر

۲- آمادهسازی نمونه

در این پژوهش چوب به دلیل خواص منحصر به فردی نظیر عایق، آب دوستی ، شناوری در سطح آب و تخلل 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 متاسفانه 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. بر ای این منظور،

ابتدا یک صفحه یفلزی به طور پیوسته در معرض حرارت شدید شعله قرار گرفته تا دمای آن به ۴۰۰ درجه سانتی گراد برسد. سپس چوب مورد نظر برای مدت زمان معین بر روی فلز داغ قرار می گیرد، 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 نمونه ی چوب ساده به همراه تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی ۱ آن و نمونه های کربنیزه شده در طی زمان های مختلف با سطح ۲۰۰ درجه سانتی گراد را نشان می دهد. در جدول ۱

¹ Scanning electron microscope (SEM)





یگانه تجهیز ویرا) میباشد. در این سیستم، گیرندهی خورشیدی یک بشر عایق شده 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 می شوند. لازم به ذکر است که عایق مورد استفاده الاستومريک به ضخامت ۱/۵ سانتيمتر مي باشد که داراي ضريب هدایت حرارتی بسیار پایین (۰/۰۳۹ W/mK تا ۰/۰۳۹ (مدایت حرارتی میار پایین (است. این در حالی است که برای چوب ضریب هدایت حرارتی تقریبا ۰/۴ W/mK مى باشد. در هر آزمايش جرم اوليه آب داخل بشر ۲۰^۶ گرم بوده و توسط سه عدد حسگر ^۵ از نوع دی اس ۱۸ بی *با رزولوشن ۱/۱ درجه سانتی گراد که در فاصلههای ۱۰، ۳۰ و ۵۰ میلیمتری از کف بشر تعبیه شدند، دمای آن ثبت می شود. یک حسگر نیز جهت گزارش دمای محیط مورد استفاده قرار می گیرد. 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 اندازه گیری می شود. جرم کاهش یافته آب (جرم تبخیر شده) بر حسب زمان، توسط کابل اتصال ترازو به کامپیوتر، ثبت شده و شدت نور نیز توسط شدتسنج با قراردادن آن در محل نمونه، گزارش مے، شود. 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 اندازه گیری نرخ تبخیر را نشان میدهد. اجزاء اصلی این سیستم شامل شبیه از خورشیدی (حاوی لامپ زنون ۱۶۰۰ وات با دمای تابش ۶۰۰۰ کلوین ساخت شرکت نانوشرق توس)، ترازو دیجیتالی (ساخت شرکت کرن^۱ آلمان با دقت ۱۰/۱ گرم و حداکثر وزن ۲۰۰۰ گرم)، شدت سنج سی ام پی ^۳۳ (ساخت شرکت کیپ و زونن^۳ با دقت W/m² و گستره طول موجی ۲۰۰ تا مهندسی

⁵ Sensor 6 DS18B20

¹ Kern Co.

² CMP3 secondary standard pyranometer

³ Kipp & Zonen Co.

⁴ Data logger



Time (min)



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 تقریبا یکسان باشد، تا بر عملکرد تبخیری اثر یکسانی داشته باشد. برای این منظور، دمای شروع در همهی آزمایشها بر روی ۳۱–۲۸ درجه سانتی گراد تنظیم و سپس فرآیند تبخیر آغاز میشد. از طرفی در مدت زمان آزمایش رطوبت نسبی محیط ۱۹ درصد و فشار هوا ۱/۹ بار اندازه گیری شد که در حین فرایند 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 می گرفت، تغییرات شرایط جوی و محیطی، کنترل پارامترهای موثر را دشوار می کرد و امکان مقایسه درست را کاهش می داد. از این رو محفظهی آزمایش توسط یک باکس از محیط ایزوله شد، که علاوه بر محفوظماندن از انعکاس پرتوهای نور، شرایط محیطی بر آن کمترین اثر را داشته



شکل ۴: غییرات 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



شکل۵: (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	در محل آزمایشگاه مکانیک و انرژیهای تجدید پذیر دانشگاه فردوسی
	مشهد انجام شده و جهت كاليبراسيون تجهيزاتي نظير حسگرهاي دما
۱–۴– اندازهگیری نرخ تبخیر	و ترازوی دیجیتال از تجهیزات آزمایشگاه مرکزی دانشگاه فردوسی
	مشهد استفاده شده است.

در گام نخست به ارزیابی عملکرد چوب معمولی در تولید بخار

آب و چوب معمولی



شکل ۶:جرم تبخیرشده 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: فزایش 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 وچوبهای کربنیزهشده در مدت زمان۵۰، 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 می گردد 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 خور شیدی، 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 اَنها 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 ارایه شده است. همانطور که مشاهده می شود 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 می شود 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 می شود. پس می توان 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 میلیمیتر به کمک دستگاه لیزر آماده شد. سیس 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 a–۳ و b–۳ تغییرات دمای توده سیال را در ارتفاعات مختلف بشر نشان میدهد. T_1 دمای بالاترین حسگر را نشان میدهد که مطابق با نمودارهای a–۳ و b–۳ برای چوب معمولی افزایش دمای بیشتری را نسبت به آب گزارش می کند. در حالیکه دو حسگر دیگرکه 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 محلی سازی شده و از اتلافات حرارتی ناشی از افزایش دمای توده سیال جلوگیری می شود. به طوریکه متوسط دمای توده سیال در مدت زمان تست برای آب (۱۸/ ۱۹ درجه سانتی گراد) 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 می دهد استفاده از چوب به

کربنیزاسیون استفاده می شود. نتایج برای ضخامت ۱۰ میلیمتر با مدت زمان کربنیزاسیون ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه توسط سطح داغ ۴۰۰ درجه سانتی گراد گزارش می شود. شکل ۶ جرم تبخیری برای سطوح کربنیزه مختلف را در مقایسه با آب نشان میدهد. همانطور که از شکل ۶ پیداست، فرایند کربنیزاسیون نرخ تبخیر را به میزان چشمگیری نسبت به آب معمولی افزایش میدهد به طوریکه نرخ تبخیر برای چوبهای کربنیزه در مدت زمان ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه به ترتیب ۱/۵۶، ۱/۶۶، ۱/۸۷ و ۱/۸۲ برابر نرخ تبخیر آب میباشد. همانطور که مشخص است با افزایش مدت زمان فرایند کربنیزاسیون به بیش از ۱۵۰ ثانیه نرخ تبخیری تغییر چندانی نمی کند. بنابراین میتوان نتیجه گرفت مدت زمان بهینه فرایند کربنیزاسیون برای این نوع چوب ۱۵۰ ثانیه میباشد. شکل ۷ نیز افزایش دمای توده سیال (میانگین دمای سه حسگر) را برای آب و چهار نمونه تستشده در مدت زمان آزمایش نشان میدهد. همانطور که از شکل ۷ پیداست استفاده از چوب کربنیزه با مدت زمان کربنیزاسیون ۱۵۰ ثانیه کمترین افزایش دمای توده سیال را گزارش میدهد. در حقیقت با افزایش زمان کربنیزاسیون، عمق کربنیزهشدن در چوب افزایش می یابد. این موضوع شاید در فرایند جذب نور مفید باشد، ولى با افزايش بيش از حد منجر به بالارفتن دماى 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 كمترين انتقال حرارت به توده سيال (اتلافات حرارت) را داشته باشد.

۳-۴- بازده تبخیری

به منظور مقایسه بهتر اثر نمونههای تستشده در تبخیر خورشیدی، بازده تبخیری نمونههای آزمایش شده در شکل۸ ارائه شده است. بازده تبخیری مطابق رابطه (۱) تعریف می شود.

 $\eta_{evanoration} = \frac{\frac{m h_{fg}}{I_A}}{I_A}$ (1)

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

چگالی شدت نور (کیلووات بر مترمربع) و A سطح تبخیر (مترمربع) است. مطابق شکل A-A چوب کربنیزه شده در مدت زمان ۱۵۰ ثانیه بیشترین بازده تبخیری را به خود اختصاص داده است به طوریکه در شدت تابشی ۲/۲ کیووات بر متر مربع دارای بازده تبخیری ($T/T \pm 7/4$ درصد میباشد که به ترتیب ۲ و 1/۵ برابر بازده تبخیری آب و چوب معمولی است. شایان توجه است که مقدار عدم قطعیت ذکرشده در اینجا بر اساس سه بار تکرار آزمایش ها میباشد. پس از آن بیشترین بازده های تبخیری به ترتیب مربوط به چوب کربنیزه در مدت زمان های ۲۰۰ ثانیه (۶۳ درصد)، ۱۰۰ ثانیه (P/A درصد) و مدت زمان های (P/A درصد) میباشد. دلیل این امر را میتوان به جذب نور نسبت داد. زیرا همانطور که نتایج تست طیف جذبی ارائه شده در شکل A-A برای نمونه چوب معمولی و چوب کربنیزه نشان میدهد،

۵- نتیجهگیری

در مقاله حاضر، عملکرد چوب به عنوان یک غشاء سطحی در تولید بخار خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور بلوکهای دایرهای از چوب درخت کاج با قطر ۳۲ میلیمتر و ضخامتهای مختلف به کمک دستگاه لیزرآماده شد. ابتدا چوب معمولی در ضخامتهای مختلف روی سطح آب شناور شد و نرخ تبخیر آن در شدت تابشی ۳/۲ 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 ۴۰۰ 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 میلیمتر نرخ تبخیر را ۱/۲۶ برابر نرخ تبخیر آب افزایش میدهد. همچنین نتایج نشان داد که فرایند کربنیزاسیون نرخ تبخیر و بازده تبخیری را نسبت به چوب معمولی بهبود می بخشد. به طوریکه بازده تبخیری چوبهای کربنیزه در مدت زمان ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ ثانیه به ترتیب ۱/۶۳، ۱/۸۸، ۱/۸۸ و ۱/۸۳ برابر بازده تبخیری آب بدست میآید. 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. Ebrahiminia-Bajestan, Improving steam generation and distilled

تشكر و قدرداني

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

مساحت، m² A آنتاليي تغيير فاز ، kJ/kg h Ι چگالی شدت نور، kw/m² نرخ تبخير، kg/m² т علائم يوناني بازده، % η كلمات مخفف چوب کربنیزه شده با سطح ۴۰۰ درجه سانتیگراد HT Wood Wood چوب معمولی

مراجع

- 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, Fiberbased, 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 flametreated 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 highefficiency 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

جگونه به اين مقاله ارجاع دهيم 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



بی موجعه محمد ا