ششمین کنفرانس بین المللی مطالعات جهانی
در مهندسی کامپیوتر، برق و مکانیک
The 6th International Conference on Global Studies in Computer, Electrical, and Mechanical Engineering

بررسی تجربی استفاده از روغن چربی گوسفند به عنوان ماده‌ی تغییر فاز دهنده برای ذخیره‌ی انرژی خورشیدی و تولید الکتریسیته

عمادالدین عرفانی‌فارسی‌عیدگاه[۱]*، محمدمصطفی غفوریان[۲]، علی کیانی‌فر[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، em.erfani@mail.um.ac.ir
۲- پژوهشگر پسادکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، m.m.ghafoorian@mail.um.ac.ir
۳- عضو هیات علمی گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، a-kiani@mail.um.ac.ir

چکیده

یکی از چالش‌های مهم جهانِ امروزِ ما، چگونگی تولید و ذخیره‌ی انرژی بدون ایجاد آلودگی می‌باشد. در بین منابع مختلف انرژی، انرژی خورشیدی در دسترس ترین انرژی پاک می‌باشد که از کاربردهای مختلف انرژی خورشیدی، انرژی حرارتی یکی از مهم‌ترین شکل‌های آن است. امروزه در سیستم‌های صنعتی، الکتریکی و حرارتی از تبدیل فوتو-ترمال و ذخیره‌ی انرژی از مواد تغییر فاز دهنده استفاده می‌شود. از این رودر این پژوهش به بررسی تجربی ذخیره‌ی انرژی خورشید و تولید الکتریسیته با استفاده از ماده تغییر فازدهنده و ترموالکتریک پرداخته می‌شود. برای این منظور از روغن چربی گوسفند به دلیل دسترس پذیری بالا، قیمت ارزان و ماندگاری بیشتر نسبت به دیگر روغن‌ها به عنوان ماده‌ی تغییر فاز دهنده استفاده شده است. بطور کلی هدف اصلی این پژوهش ذخیره‌ی انرژی حرارتی ناشی از تابش خورشید و تداوم تولید الکتریسیته با استفاده از انرژی ذخیره شده بخصوص در زمان نبود تابش می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از روغن چربی گوسفند نقش موثری در تولید الکتریسیته بخصوص در زمان نبود تابش داشته است.

واژه‌های کلیدی: مواد تغییر فازدهنده، ذخیره‌ی انرژی، انرژی خورشیدی، ترموالکتریک

۱- مقدمه

امروزه انرژی خورشیدی، به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر، به دلیل هزینه کم و سازگاری با محیط زیست توجه زیادی را به خود برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی جلب کرده است[۱, ۲]، که منجر به تولید فن‌آوری‌های جدیدی با تکنولوژی تبدیل فتوترمال[1] شده‌است[۳]. در این میان ذخیره‌سازی انرژی حرارتی خورشید[۴] یک جزء مهم از برنامه‌های کاربردی تبدیل فتوترمال می‌باشد. به طوری که تحقیقات گسترده ای در این حوزه انجام شده است. به عنوان نمونه، ایرانی و همکاران [۵] در پژوهش خود به بررسی تأثیر استفاده PCM برروی سیستم‌های تبخیر سطحی و حجمی با انرژی خورشید پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌داد که نرخ تبخیر در بازه‌ی ۸۰ دقیقه‌ای تست تحت تابش با حضور PCM پارافین کاهش می‌یابد. اما در مدت ۱۲۰ دقیقه نبود تابش، تا حدی میتواند نرخ تبخیر را جبران نمود. همچنین در پژوهشی دیگر ساو و همکاران [۶] به بررسی تأثیر استفاده از

[1] photo-thermal

آئروژول[2] به عنوان PCM در تبدیل و ذخیره‌ی انرژی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان‌داد که استفاده از آئروژول سبب افزایش ۳ برابری تولید ولتاژ توسط ترموالکتریک و افزایش بازده ٪ ۶۱/۳ نسبت به حالت عدم وجود آئروژول شده است. کرمی و همکاران [۷] در پژوهش خود ترکیبی جدید از پارافین، چربی گوشت گاو و روغن نارگیل/ نانوذارت گرافیت بعنوان PCM معرفی کردند که در افزایش بازده الکتریکی و حرارتی ماژول‌های فوتوولتائیک استفاده شده بود. نتایج آن‌ها نشان‌داد که استفاده از این ترکیب برای خنک‌سازی سیستم فوتوولتائیک، سبب کاهش ٪۵۰ دمای میانگین و افزایش دوبرابری توان تولیدی ماژول شده است. . همانطور که از مرور بر پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌شود برداشت و ذخیره انرژی خورشید و تولید الکتریسیته از موضوعاتی است که اخیرا مورد توجه قرار گرفته است. لذا در این پژوهش جهت ذخیره‌ی انرژی و تولید الکتریسیته از روغن چربی گوسفند استفاده خواهد شد.

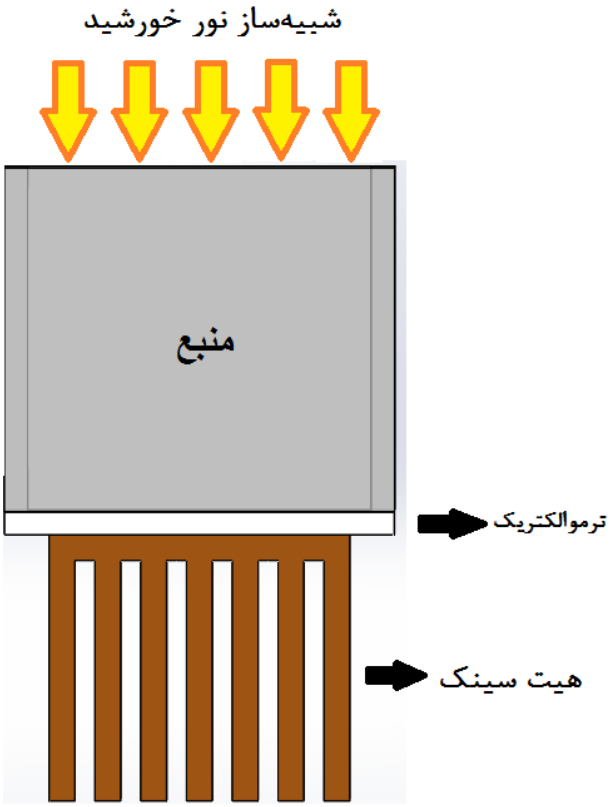
۲- مواد و تجهیزات

ماده‌ی ذخیره کننده‌ی انرژی در این پژوهش روغن چربی گوسفند با محدوده دمایی ذوب ۲۰-۲۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که خواص فیزیکی آن در جدول ۱ ارائه شده است. این خواص با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و نمودار DSC[3] بدست آمده است. مطابق شکل ۱ مجموعه‌ی آزمایشگاهی شامل مخزن قرار گیری روغن چربی گوسفند که توسط شبیه‌ساز نور خورشید تحت تابش $۸۷۰ W/m^2$ قرار دارد، می‌باشد. دمای این مخزن توسط توسط دیتالاگر (Lutron TM-947SD) با دقت نمایش $۰/۱°C$ به ثبت می‌رسد، در انتهای مخزن ژنراتور ترموالکتریک (مدل SP1848-27145) قرار گرفته است که میزان ولتاژ تولیدی آن به وسیله‌ی دستگاه ولت‌متر (DEC330FC) با دقت ۱ mV ثبت شده است. در طرف دیگر ترمو الکتریک هیت سینک برای سرد سازی و ایجاد اختلاف دمای بیشتر در دو طرف ترموالکتریک قرار دارد.

جدول ۱ . خواص فیزیکی روغن چربی گوسفند

ظرفیت حرارتی ویژه (kJ/kg.K)	۱/۹
رسانش حرارتی (W/m.K)	۰/۲۳
گرمای نهان (kJ/kg)	۷±۲
نقطه‌ی ذوب (°C)	۲۰-۲۳
چگالی (kg/m^3)	۷۷۰

[2] Aerogels
[3] Differential scanning calorimeter



شکل۱ شماتیک مجموعه‌ی آزمایشگاهی

۳- روش آزمایش

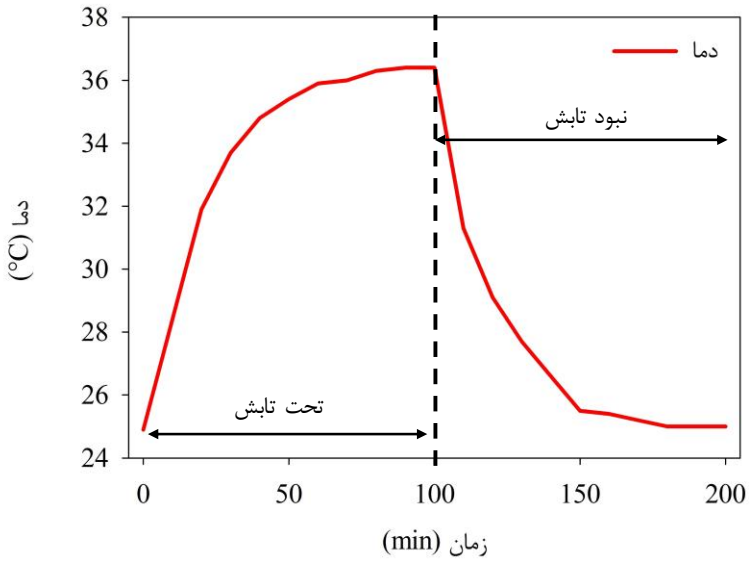
به منظور ارزیابی روغن چربی گوسفند در فرآیند ذخیره‌سازی و آزادسازی انرژی از مجموعه‌ی آزمایشگاهی نشان داده شده در شکل۱ استفاده شده است. مدت زمان کلی آزمایش ۲۰۰ دقیقه بوده است، که مجموعه آزمایشگاهی در ابتدا ۱۰۰ دقیقه در معرض تابش شبیه ساز خورشیدی قرار گرفت و سپس به مدت ۱۰۰ دقیقه‌ی دیگر فرآیند سرد سازی انجام شد، که در طول آزمایش تغییرات دمایی و ولتاژ تولیدی ثبت شده است. در مدت زمان تابش، ذخیره انرژی در منبع حاوی روغن چربی گوسفند اتفاق افتاد، که ترموالکتریک به دلیل اختلاف دما بین دو سطح و نیمه هادی‌های بکار رفته در آن با استفاده از اثر سیبک[۴] انرژی گرمایی را مستقیما به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کند[۸]. پس از قطع تابش به دلیل حرارت ذخیره شده در منبع روغن، بین دو طرف ترموالکتریک اختلاف دما ایجاد می‌شود و تا هم‌دما شدن منبع روغن با محیط ادامه می‌یابد. در این مدت به دلیل وجود اختلاف دما توسط ترموالکتریک انرژی الکتریکی تولید می‌شود. لازم به ذکر است که آزمایش در دمای محیط ۲۵°C انجام شده است.

۴- بحث و نتایج

در این بخش به بررسی تغییرات دمایی و ولتاژ تولید شده توسط مجموعه‌ی آزمایشگاهی پرداخته می‌شود. همانطور که در شکل۲ نشان داده شده است، نرخ تغییرات دمای منبع روغن چربی گوسفند در طول ۱۰۰ دقیقه تابش کاهشی بوده است و در

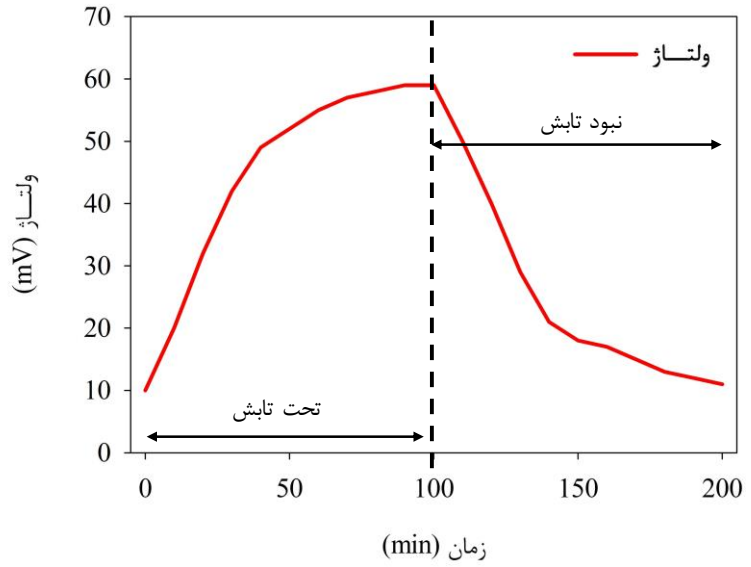
[4] seebeck

انتهای زمان تابش با رسیدن به دمای ۳۶/۴ درجه سانتیگراد، ثابت شده است. پس از قطع تابش، فرآیند خنک سازی آغاز شده و با گذشت حدودا ۱۰۰ دقیقه سیستم به دمای پایداری با محیط می‌رسد.



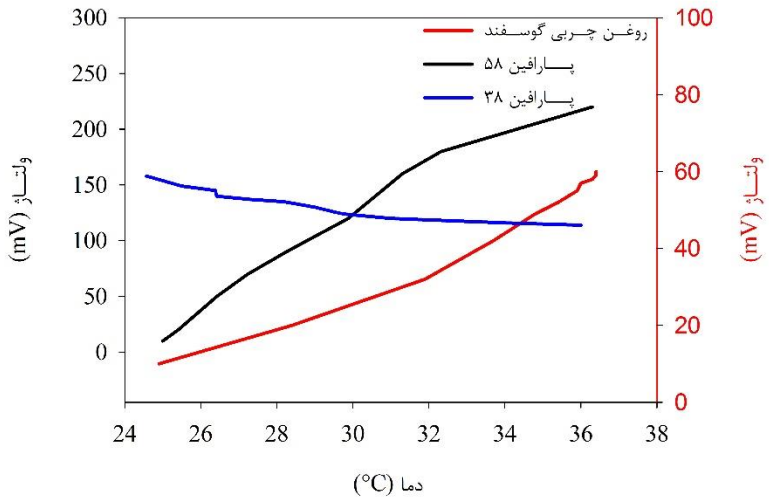
شکل۲ تغییرات دمای منبع روغن چربی گوسفند

با بررسی شکل۳ که مقدار ولتاژ تولیدی برای روغن چربی گوسفند را تحت شرایط آزمایش نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که مقدار ولتاژ تولیدی، متناسب با نمودار دما در شکل۲ می‌باشد. افزایش دمای منبع و در نتیجه افزایش اختلاف دمای دو طرف ترموالکتریک، سبب بیشتر شدن میزان ولتاژ تولیدی سیستم شده است. در انتهای زمان تابش با ثابت شدن دما، میزان ولتاژ تولیدی نیز با مقدار ۵۹mV ثابت شده است. پس از قطع تابش و با سرد شدن منبع، نمودار تولید ولتاژ نزولی و به صفر میل می‌کند.



شکل۳ میزان ولتاژ تولیدی برای روغن چربی گوسفند در طول زمان تابش و نبود تابش

برای تصدیق نتایج بدست آمده در این پژوهش و انتخاب مجموعه‌ی آزمایشگاهی مناسب به منظور ذخیره سازی انرژی و تولید ولتاژ، به مقایسه‌ی این نتایج و نتایج بدست آمده از پژوهش شی و همکاران[۹] پرداخته شد، که آنها در پژوهش خود از پارافین ۵۸ درجه به عنوان ماده‌ی تغییر فازدهنده در مجموعه‌ی آزمایشگاهی مشابه (ترموالکتریک مابین منبع و هیت سینک) استفاده کردند. این شباهت (مکان قرار گیری ترموالکتریک در مجموعه‌ی آزمایشگاهی) سبب شده تا مطابق شکل۴، پارافین۵۸ از نظر تولید ولتاژ بر حسب دما، رفتاری مشابه با روغن چربی گوسفند داشته باشد. با این تفاوت که در پژوهش آن‌ها علاوه بر اینکه از ماده‌ی تغییر فازدهنده پارافین ۵۸ که نسبت به روغن چربی گوسفند نقطه‌ی ذوب و گرمای نهان ذوب بیشتری دارد استفاده شده است، منبع حاوی پارافین۵۸ نیز تحت تابش $۱۰۰۰۰W/m^2$ قرار گرفته است، که این مقدار شدت تابش سبب افزایش شدید دمای منبع پارافین شده است، به طوری که تغییر دمای پارافین ۵۸، از ۲۵ تا ۳۶ درجه سانتیگراد در کمتر از ۲ دقیقه اتفاق افتاده است. در حالی که این تغییر دما (۲۵تا۳۶ درجه سانتیگراد) برای برای روغن چربی گوسفند در مدت زمان ۱۰۰ دقیقه رخ داده است. همانطور که در شکل۴ مشاهده می‌شود، سرعت بالای تغییر دما سبب شده است تا اختلاف دمای بیشتری در دو طرف ترمو الکتریک ایجاد شود، که در نتیجه مقدار ولتاژ تولیدی پارافین ۵۸ در شرایط دمایی یکسان، تقریبا ۵ برابر مقدار ولتاژ تولیدی توسط روغن چربی گوسفند ثبت شده است. اما وانگ و همکاران[۱۰] در پژوهش خود ترموالکتریک را در بالای مجموعه قرار داده‌اند، به طوریکه یک طرف آن در معرض تابش $۹۹۳W/m^2$ و طرف دیگر آن در منبع ماده‌ی تغییر فاز دهنده (پارافین ۳۸ درجه) قرار داشت. این تفاوت سبب شده است تا ولتاژ تولیدی پارافین ۳۸ بر حسب دما، برخلاف دیگر مواد تغییر فاز دهنده در شکل۴، در ابتدای آزمایش که اختلاف دما بین دو طرف ترمو الکتریک مقدار بیشتری دارد، ولتاژ بیشتری تولید کرده است. اما با گرم شدن پارافین در طول تست، اختلاف دمای دو طرف ترموالکتریک کاهش یافته و تولید ولتاژ، روند نزولی پیدا کرده است. با مقایسه‌ی این مجموعه‌ی آزمایشگاهی (ترموالکتریک تحت تابش) با مجموعه‌ی آزمایشگاهی منبع تحت تابش مشاهده می‌شود، که در شرایط یکسان آزمایش (شدت تابش، مدت تابش و ماده‌ی تغییر فاز دهنده‌ی مشابه)، مجموعه‌ی آزمایشگاهی منبع تحت تابش به دلیل جذب انرژی بیشتر، مقدار ولتاژ بیشتری در زمان نبود تابش تولید می‌کند.



شکل۴ مقایسه‌ی روغن چربی گوسفند با پارافین‌های ۳۸و۵۸ درجه

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی تجربی استفاده از روغن چربی گوسفند به عنوان ماده‌ی تغییر فاز دهنده برای ذخیره‌ی انرژی خورشیدی و تولید الکتریسیته پرداخته شد. برای این منظور از یک مجموعه‌ی آزمایشگاهی که شامل منبع روغن تحت تابش شبیه ساز خورشیدی قرار داشت و ترموالکتریک که در قسمت زیرین منبع روغن نسب شده بود، استفاده شد. که در آن روغن چربی گوسفندی به عنوان ذخیره کننده‌ی انرژی خورشیدی قرار گرفته بود. در طول مدت زمان آزمایش تغییرات دمایی و ولتاژ تولیدی ثبت شد. نتایج بدست آمده و مقایسه‌ی آن با پژوهش‌های پیشین نشان داد که محل قرار گیری ترموالکتریک تاثیر به سزایی در تولید ولتاژ دارد و بهترین حالت برای تداوم تولید ولتاژ در زمان نبود تابش هنگامی رخ می‌دهد که ترموالکتریک، در انتهای منبع روغن تحت تابش قرارگیرد. با اینکه روغن چربی گوسفند دسترس پذیری بالا، قیمت ارزان و ماندگاری بیشتری نسبت به دیگر مواد بررسی شده دارد. اما همانطور که مشاهده شد در روغن چربی گوسفند به دلیل پایین بودن نقطه‌ی ذوب، گرمای نهان ذوب و در نتیجه پایین بودن مقدار بازده‌ی ذخیره سازی انرژی، در هنگام فرآیند سرد سازی، دمای خود را به سرعت از دست می‌دهد و میزان ولتاژ تولیدی کمتری دارد. در نتیجه روغن چربی گوسفند نسبت به مواد تغییرفاز دهنده‌ی صنعتی عملکرد قابل قبولی نداشته است و استفاده از آن به منظور تولید ولتاژ پیشنهاد نمی‌شود.

مراجع

[1] K. M. Powell, K. Rashid, K. Ellingwood, J. Tuttle, and B. D. Iverson, "Hybrid concentrated solar thermal power systems: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Review vol. 80, pp. 215-237, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.067.

[2] S. Sadeghi, S. Ghandehariun, and M. A. Rosen, "Comparative economic and life cycle assessment of solar-based hydrogen production for oil and gas industries," *Energy*, Article vol. 208, 2020, Art no. 118347, doi: 10.1016/j.energy.2020.118347.

[3] R. Yang, D. Li ,S. L. Salazar, Z. Rao, M. Arıcı, and W. Wei, "Photothermal properties and photothermal conversion performance of nano-enhanced paraffin as a phase change thermal energy storage material," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Article vol. 219, 2021, Art no. 110792, doi: 10.1016/j.solmat.2020.110792.

[4] X. Du, J. Qiu, S. Deng, Z. Du, X. Cheng, and H. Wang, "Flame-retardant and solid-solid phase change composites based on dopamine-decorated BP nanosheets/Polyurethane for efficient solar-to-thermal energy storage," *Renewable Energy*, Article vol. 164, pp. 1-10, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.09.067.

[5] M. Irani, M. M. Ghafurian, M. M. Khorasani, R. Mehrkhah, and O. Mahian, "A comparative study of the effect of phase change material (paraffin wax) on volumetric and surface direct solar steam generation," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2021/08/27/ 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.07.046.

[6] R. Cao *et al.*, "Enhancing solar-thermal-electric energy conversion based on m-PEGMA/GO synergistic phase change aerogels," *Journal of Materials Chemistry A*, Article vol. 8, no. 26, pp. 13207-13217, 2020, doi: 10.1039/d0ta04712k.

[7] B. Karami, N. Azimi, and S .Ahmadi, "Increasing the electrical efficiency and thermal management of a photovoltaic module using expanded graphite (EG)/paraffin-beef tallow-coconut oil composite as phase change material," *Renewable Energy*, vol. 178, pp. 25-49, 2021/11/01/ 2021, doi : https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.067.

[8] X. Zhao *et al.*, "Thermoelectric generator based on anisotropic wood aerogel for low-grade heat energy harvesting," *Journal of Materials Science and Technology*, Article vol. 120, pp. 150-158, 2022, doi: 10.1016/j.jmst.2021.12.039.

[9] L. Shi, Y. Hu, Y. Bai, and Y. He, "Dynamic tuning of magnetic phase change composites for solar-thermal conversion and energy storage," *Applied Energy*, vol. 263, p. 114570 ,۲۰۲۰ /۰۱/۰۴/۲۰۲۰ ,doi: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114570.

[10] Y. Wang, Y. Peng, K. Guo, X. Zheng, J. Darkwa, and H. Zhong, "Experimental investigation on performance improvement of thermoelectric generator based on phase change materials and heat transfer enhancement," *Energy*, vol. 229, p. 120676, 2021/08/15/ 2021.